TABELA 2

Massas específicas de soluções aquosas de álcool

x (%)	0	2	4	6	8	10
ρ_{exp}(g cm^{-3})	0,99820	0,9945	0,9910	0,9878	0,9847	0,9819
ρ_{calc}(g cm^{-3})*	0,99820	$0,9945_0$	$0,9910_2$	$0,9877_6$	$0,9847_2$	$0,9819_0$
$(\Delta\rho/\rho)$ 100 **	0	0	$-0,00_7$	$+0,00_4$	-00_2	0

* Nos valores de ρ_{calc} retivemos um algarismo a mais por se tratar de valor a utilizar em cálculos subsequentes.

** $\Delta\rho = \rho_{exp} - \rho_{calc}$.

Consideremos, a título de exemplo, uma série de determinações da massa específica de misturas de água e álcool, a 20° C, cujos resultados estão contidos na Tabela 2. A composição das misturas é representada pela fracção em massa, x, do álcool.

O valor correspondente a $x = 0$ merece particular confiança, pois a massa específica da água pura a 20° é conhecida com uma exactidão da ordem de $1/10^6$. Por outro lado os valores de ρ para $x > 0$ são relativos a esse padrão (água pura) e as condições experimentais permitiram apenas assegurar uma reprodutibilidade da ordem de $1/10^4$.

O gráfico da fig. 1 apresenta uma ligeira curvatura, pelo que a equação

$$\rho = \rho_o + ax \qquad (8)$$

não é a mais apropriada para traduzir os resultados experimentais.

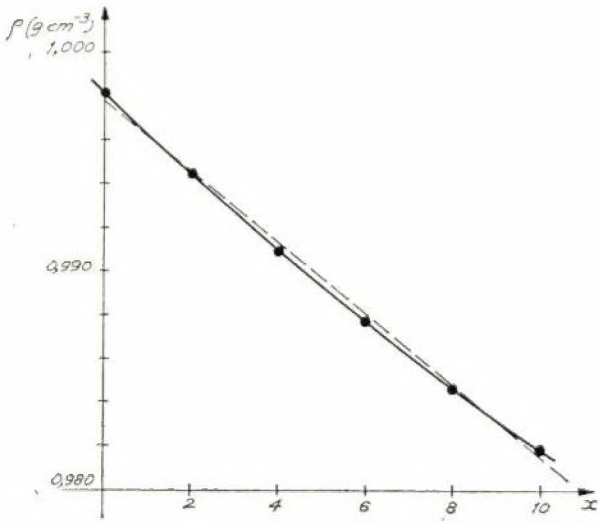


FIG. 1

Gráfico de ρ em função de x. A tracejado, a «recta que melhor se ajusta»

Mas (fig. 2) o gráfico de $(\rho_i - \rho_o)/(x_i - x_o)$ em função de $(x_i + x_o)$ é sensivelmente linear; podemos, pois, tentar a equação

$$\rho = \rho_o + a_1\, x + a_2\, x^2 \qquad (9)$$

Fazendo $F_i = (\rho_i - \rho_o)/(x_i - x_o)$ e $G_i = x_i + x_o$,

o problema consiste em determinar os parâmetros da equação $F = a_1 + a_2 G$. Tabelando os valores de F_i e

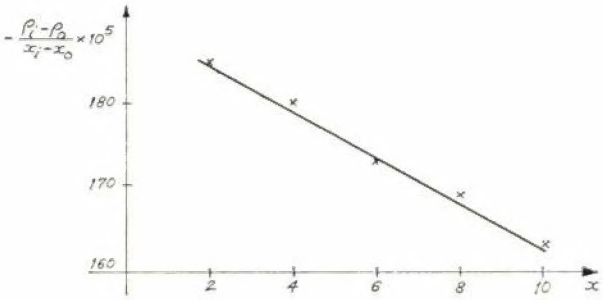


FIG. 2

Gráfico de $(\rho_i - \rho_o)/(x_i - x_o)$ em função de $x_o + x_i$

de G_i e utilizando as fórmulas (1), (2) e (7) calculamos os parâmetros $a_1 = -1,905 \times 10^{-3}$ g cm^{-3}

$$a_2 = 2,75 \times 10^{-5}\ \text{g cm}^{-3} \quad \text{e} \quad \rho_o = 0,99820\ \text{g cm}^{-3}.$$

A consulta da Tabela 2 permite verificar que a equação (9) reproduz muito satisfatoriamente os resultados da experiência, pois os desvios relativos não excedem 0,004 % (fig. 3) e o desvio relativo médio é $0,001_3$ %.

A equação (8) com $\rho_o = 0,99783$ g cm^{-3} e $a = -1,63 \times 10^{-3}$ g cm^{-3}, também obtidos por análise de regressão linear, só deve ser adoptada quando não for necessário

grande rigor. Os resultados experimentais são reproduzidos com desvios relativos que podem atingir 0,04 % (fig. 3) e o desvio relativo médio é $0{,}02_6$ %, ou seja, vinte vezes maior que o correspondente à equação (9).

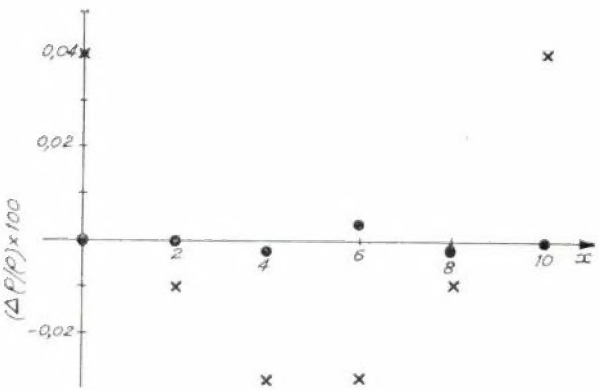


FIG. 3

Gráfico dos desvios relativos. X eq 8. • eq 9

Os cálculos referentes a este problema foram realizados em poucos minutos com uma calculadora portátil equipada para realizar análises de regressão linear. Algumas calculadoras portáteis estão equipadas para fornecer também o coeficiente de correlação entre x e y, mas os desvios padrão dos parâmetros calculados só são facilmente acessíveis se se dispõe de meios algo sofisticados de cálculo: calculadoras de secretária de certo porte ou computadores. Contudo, estes requisitos são dispensáveis em muitos casos, pois o desvio relativo médio e um gráfico de desvios relativos dão uma imagem bastante fiel da dispersão dos valores experimentais relativamente aos calculados a partir da equação adoptada.

BIBLIOGRAFIA

[1] a) **Findlay, Alexander,** *Practical Physical Chemistry,* Longmans, Londres, 1963, pág. 19.
b) **Shoemaker, D. P. e Garland, C. W.,** *Experimentos de Fisicoquímica,* UTEHA, México, 1968, pág. 32.
c) **Deming, W. E.,** *Statistical Adjustment of Data,* Dover Pub. Inc., New York, 1964.
d) **Young, H. D.,** *Statistical Treatment of Experimental Data* Mc Graw-Hill Book C°, Inc., New York, 1962.

[2] a) **Wentworth, W. E.,** J. Chem. Ed. *42* 97 (1965).
b) **Richard W. Hamming,** *Numerical Methods for Scientists and Engineers,* Mc. Graw Hill, New York, 1962, Cap. 17 e 18.

[3] **Kim, H.,** J. Chem. Ed. 47, 121 (1970).

NOTICIÁRIO

(Continuação da pág. 8)

Conference Languages

English, Portuguese and French are accepted languages. Yet, since simultaneous translaction cannot be guaranteed, authors are advised to present their papers in English.

Conference Materials

The detailed program will be sent to participants by December 80. Complete collections of papers shall also be available in advance for each Conference section.

Social Program

Social events and sightseing shall be arranged.

Accomodation

Conference participants will find convenient accomodation in local hotels.
Satisfactory accomodation will also be available in University Halls.
Further details will be given in Circular II.

Travel Subsidies

A travel subsidy way be granted to authors from outside Portugal. The amount and conditions will be stated on Circular II.

Inscription Fee (including Section Texts)

Authors and Students: 500$00 or £5.
Non-authors: 1500$00 or £15.
Extra-collection of section texts ordered in advance: 500$00 or £5 per collection.

Address for Correspondence

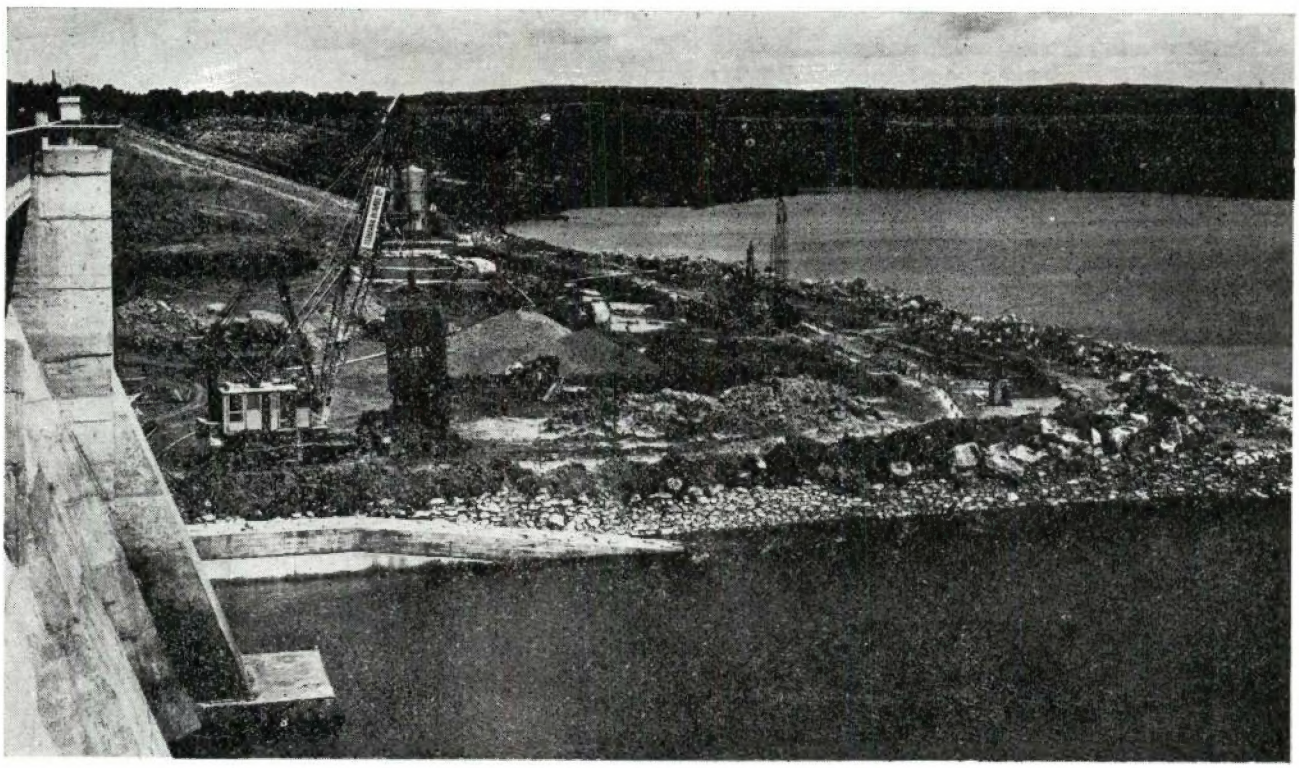
in United Kingdom
Dr. T. R. BOTT
Dep. of Chemical Engineering
The University of Birmingham
P.O. Box 363
Birmingham B15 2TT
United Kingdom

in Portugal
Prof. J. J. B. ROMERO
Universidade do Minho
4719 Braga Codex
Portugal

or

Prof. R. A. GUEDES DE CARVALHO
Departamento de Engenharia Química
Faculdade de Engenharia
4099 Porto Codex
Portugal

(Continua na pág. 54)



TRABALHOS DE REPARAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DA BARRAGEM DO ROXO

Tratamento do talude de contenção da albufeira, no encontro da margem direita, do lado montante, de forma a permitir a escavação com cerca de 23 m. de profundidade para o prolongamento da barragem gravidade.

Natureza dos trabalhos realizados:

- **Cortina plástica de estanqueidade, moldada no solo.**
- **Sondagens — amostragem integral.**
- **Furação para injecções — ensaios tipo Lugeon.**
- **Injecções para impermeabilização do maciço rochoso no prolongamento da cortina plástica.**
- **Instalação de piezómetros e inclinómetros.**
- **Drenagem de maciço rochoso.**

TEIXEIRA DUARTE, LDA.

SEDE:

Av. da República, 42 / Telef. 73 30 86 / Telex 18548 TEDEX P / 1094 LISBOA Codex

O consórcio Brown Boveri na distribuição de energia

O disjuntor é um elemento base na distribuição de energia eléctrica

O nosso programa de fornecimento compreende:

- **Disjuntores pneumáticos**
- **Disjuntores de pequeno volume de óleo**
- **Disjuntores SF_6**

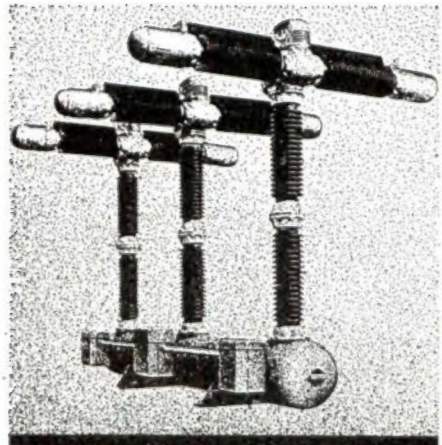
Planificamos e construimos instalações exteriores e interiores para todas as tensões até 765 kV

Os disjuntores BBC respondem a todas as exigências de serviço

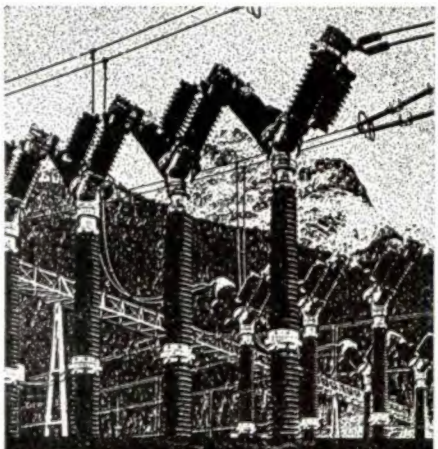
Condicionamentos técnicos, de serviço e económicos estão na base da escolha de um dos três sistemas de extinção do arco eléctrico

Com prazer resolvemos o vosso problema

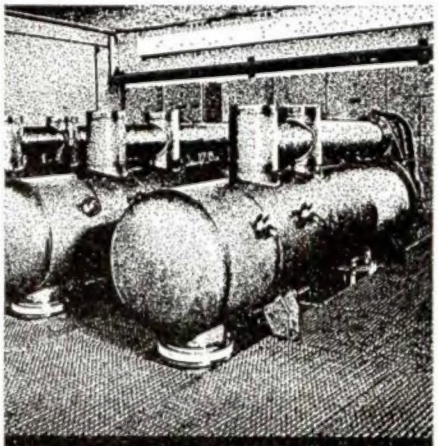
153584.VI



Disjuntores pneumáticos



Disjuntores de pequeno volume de óleo



Disjuntores SF_6

Sociedade de Electricidade Brown Boveri, Lda.
Rua de Sá da Bandeira, 481 – 2º Dto. – PORTO

BBC
BROWN BOVERI

Ocorrência média anual no território Português das classes de estabilidade atmosférica Pasquill-Gifford

J. J. DELGADO DOMINGOS
M. FÁTIMA PINTO
M. TERESA PONTES

RESUMO

Com o objectivo de fundamentar a regulamentação aplicável às actividades que contribuem para a poluição atmosférica no Território Nacional, efectuou-se a caracterização da ocorrência média anual das classes de estabilidade atmosférica Pasquill-Gifford no Território Continental.

Esta caracterização permitirá estabelecer as expressões mais adequadas para o cálculo da dispersão de efluentes atmosféricos no País.

ABSTRACT

Annual mean occurence of Pasquill-Gifford stability classes in Portugal was made in order to fundament the policy to rule atmospheric pollutant activities.

Based on this caracterization more correct expressions to calculate the dispersion of atmospheric pullutants in Portugal can be set.

OBJECTIVO

— Fundamentar a regulamentação aplicável às actividades que contribuem para a poluição atmosférica no território nacional.

— Pela sua natureza genérica as medidas a promulgar devem abranger actividades poluidoras indiscriminadas de pequena dimensão e baixa perigosidade quanto aos eflentes que emitem. A regulamentação deve ser simples de aplicar e terá como principal objectivo evitar que sejam excedidas concentrações médias anuais admissiveis. São especificamente excluídas unidades poluidoras de grande porte ou de elevada perigosidade.

— Na concretização do objectivo proposto é finalidade deste trabalho a caracterização da ocorrência média anual das classes de estabilidade atmosférica de acordo com a tipologia internacionalmente mais utilizada (Pasquill-Gifford), de modo a permitir estabelecer as expressões mais adequadas para o cálculo da dispersão de efluentes atmosféricos no território português.

SUMÁRIO

Determina-se a frequência média de ocorrência das classes de estabilidade de Pasquill-Gifford para o território português com base em observações de superfície recolhidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica nos anos de 1970, 1971, 1972 e 1973.

Estima-se que os desvios médios anuais não ultrapassem em mais de 5 % os obtidos ao considerar um número de anos mais elevado.

Tal precisão está de acordo com a finalidade do trabalho e a precisão máxima esperável na estimativa da dispersão de poluentes usando a metodologia internacionalmente mais difundida.

A tipologia subjectiva de Pasquill-Gifford foi substancialmente melhorada através da caracterização objectiva de Turner cuja aplicação se discute.

O trabalho considerou cerca de 49 milhões de dados recolhidos em 160 estações meteorológicas do I. N. M. G. Para cada estação apresentam-se, ano a ano, os valores médios trimestrais e anuais.

Com base nos valores obtidos, estabelecem-se grandes zonas regionais de ocorrência média anual das diferentes classes, discutindo-se a validade e aplicação das conclusões obtidas.

1. INTRODUÇÃO

1.1 — O estabelecimento de bases adequadas para a previsão e controlo da poluição atmosférica exige o conhecimento das propriedades de transporte e dispersão da atmosfera relativamente aos poluentes que nela são lançados.

Trabalho realizado para o Serviço de Estudos do Ambiente da Secretaria de Estado do Ambiente — 1978.
Manuscrito recebido para publicação em 31/3/80.

As características de transporte e dispersão da atmosfera são também determinantes em fenómenos vitais da biosfera, pelo que um planeamento biofísico fundamentado deve, necessariamente, tê-las em conta. Efectivamente, a atmosfera constitui um elo fundamental nos ciclos biogeoquímicos naturais (ciclo da água, do carbono, do azoto, do enxofre, etc.), cujo elemento motor é o Sol. Na conversão da energia solar em correntes de transporte, a atmosfera desempenha papel análogo ao do fluido termodinâmico num motor térmico.

Para que se ultrapasse uma visão meramente qualitativa relativamente aos ciclos fundamentais, é essencial saber caracterizá-los não apenas em relação às quantidades totais envolvidas mas sobretudo quanto aos fluxos (massas por unidade de tempo e superfcie) que se verificam a cada instante. A poluição atmosférica é, actualmente e na maioria dos casos, a consequência de o fluxo de um composto determinado exceder a capacidade que a atmosfera tem de o dispersar a velocidade suficiente por todo o planeta de modo a não serem excedidas as concentrações que ultrapassam a capacidade regeneradora local da biosfera.

1.2 — A dispersão de espécies químicas gasosas, de humidade, de calor, de partículas em suspensão, etc., é basicamente determinada pela turbulência da baixa atmosfera. A turbulência consiste na flutuação aleatória da velocidade de um fluido em torno do valor médio obtido num dado intervalo de tempo. Esta velocidade média tem as características de um transporte à qual se sobrepõe a dispersão que promove a sua diluição.

A turbulência é um fenómeno dissipador de energia mecânica pelo que a sua permanência exige uma fonte positiva de energia. Tal fonte é, em última análise, o Sol. Pode, todavia, considerar-se um efeito directo, resultante das variações de temperatura do solo devido às permutas de energia radiante com o Sol e o ambiente circundante, e um efeito indirecto originado na própria existência do vento e da interacção deste com a superfície terrestre.

O valor relativo da contribuição para a turbulência dos efeitos mecânicos do vento e dos que resultam de variação de temperatura da superfície e suas diferenças com o ambiente exterior, determina o que é habitual designar por estabilidade da atmosfera. A dominância dos fenómenos térmicos na geração da turbulência dá origem a atmosferas muito instáveis. A dominância de efeitos mecânicos, atmosferas neutras. A supressão ou amortecimento da turbulência devido a variações inversas de temperatura origina as atmosferas estáveis ou muito estáveis. À atmosfera muito instável corresponde o máximo de dispersão local. À muito estável, o mínimo.

2. ESCALAS ESPACIAIS E TEMPORAIS NO TRANSPORTE E DISPERSÃO DE POLUENTES

2.1 — A turbulência verifica-se no escoamento de qualquer fluido a partir de certos valores da sua velocidade e corresponde a um fenómeno de instabilidade de características não lineares. É um fenómeno extremamente complexo, objecto de investigação teórica e experimental desde há dezenas de anos. A sua complexidade resulta, em grande parte, das suas características não lineares, as quais provocam interacções entre as flutuações da velocidade do fluido (e das espécies químicas que transporta) envolvendo escalas espaciais que vão da fracção de micron a milhares de quilómetros, e de fracções de microsegundo às muitas centenas de horas quando se trata da atmosfera.

No âmbito deste espectro, quando o domínio de de aplicação é a atmosfera, a gama até 1 ~ 2 Km é usualmente considerada como a da micro-meteorologia; até ~ 100 Km, a da meso-escala; para além de ~ 100 Km a da macro-escala ou escala sinóptica.

2.2 — No estudo da poluição atmosférica, é necessário ter em conta todas as escalas quando se trata de abordar a evolução global de um poluente. Tal análise global raramente é abordada, muito embora seja crescente o seu interesse, nomeadamente quanto ao estabelecimento da responsabilidade que uns países têm na poluição que noutros se verifica. O estudo dos fenómenos de meso-escala é importante para o próprio país, não apenas sob o aspecto de transporte inter-regional de poluentes mas também porque tais estudos base são de aplicabilidade imediata num planeamento biofísico com base quantitativa.

As escalas referidas, embora interdependentes, têm características próprias que permitem separá-las numa primeira abordagem desde que as limitações que de tal decorrem sejam claramente entendidas.

2.3 — Às escalas espaciais estão associadas escalas de tempo que se podem grosseiramente ligar ao tempo que medeia entre a ocorrência de um fenómeno num local e a sua detecção noutro. Tal escala temporal é da ordem das dezenas de horas à escala sinóptica facto que se encontra na base da previsão meteorológica corrente nessa escala tirando partido do facto de, através dos modernos sistemas de telecomunicação ser possível, de modo praticamente instantâneo, transmitir a informação relevante obtida nos postos de observação que cobrem a escala espacial correspondente. À escala sinóptica estão associados factores físicos dessa escala e são esses que a previsão meteorológica corrente prevê com tanto mais rigor quanto menor for a escala de tempo abrangida pela previsão. Tal deve-se ao facto da interacção da evolução sinóptica com fenómenos de meso-escala se tornar cada vez mais importante até a modificar substancialmente. Por sua vez, os fenómenos de meso-escala são progressivamente afectados pela sua interacção com a micro-escala. Esta interacção, de duplo sentido, entre as várias escalas é, pela sua complexidade, o factor determinante na incapacidade actual de previsão a longo prazo (semanas ou meses) da evolução meteorológica global.

2.4 — No estudo da dispersão de poluentes ao nível da micro-escala e da meso-escala é fundamental o conhecimento da turbulência na baixa atmosfera na qual são dominantes os efeitos de superfície. Tais efeitos esten-

dem-se verticalmente e de modo predominante até à ordem do quilómetro. Embora a estrutura desta zona seja dominada por efeitos de superfície, a sua evolução global é determinada pela evolução sinóptica. Todavia, esta é significativamente mais lenta pelo que tal evolução é habitualmente considerada com um dado externo no estudo de efeitos locais. Acentue-se que a evolução sinóptica recebe também a influência de efeitos locais, muito embora de uma forma integrada que atenua características pontuais. Existe assim, uma jerarquia de causa efeito: as pequenas escalas influenciam o comportamento à escala global mas as suas peculiaridades locais diluem-se no conjunto. As grandes escalas determinam a evolução (lenta) do que se passa nas pequenas escalas. Nestas, são dominantes os efeitos locais.

2.5 — Tendo em conta as escalas referidas, é compreensível o facto de a meteorologia clássica se ter sobretudo preocupado com a escala sinóptica, só recentemente começando a aprofundar o conhecimento dos fenómenos na camada limite atmosférica. Por outro lado, o estudo da turbulência e dos escoamentos em camada limite é de há cerca de cem anos objecto de extensa investigação teórica e experimental noutros domínios da ciência aplicada e da engenharia, nomeadamente na aerodinâmica, na mecânica dos fluidos reais, na transferência de calor e massa, etc., os quais se entroncam no aspecto mais fundamental da Termodinâmica (Aplicada) dos processos irreversíveis. As aquisições nesse domínio são imediatamente aplicáveis à camada limite atmosférica, numa interacção interdisciplinar que permitiu já avanços consideráveis. Nesta perspectiva, o conhecimento actual mostra que a caracterização das propriedades locais de dispersão da atmosfera não exige a proliferação de postos de observação meteorológica destinados a acumular biliões de dados destinados a eventual tratamento estatístico. Uma análise aprofundada revela, pelo contrário, que muitos postos são desnecessários e inúmeras medidas irrelevantes, muito embora algumas observações cruciais, de natureza pontual, continuem a não ser feitas Sob este aspecto, Portugal não é excepção.

2.6 — Conhecida a evolução à escala sinóptica, é viável prever a evolução na meso-escala e na micro-escala usando o conhecimento físico relevante e uma adequada formulação e tratamento matemático. Nesta base, muitos postos de observação tornam-se desnecessários. Para efeitos de planeamento, não é a previsão da evolução num dado momento o que se procura estabelecer nas sim a caracterização estatística de ocorrências posteriores baseadas em conhecimento passado. Para esta finalidade, as evoluções sinópticas passadas são, em princípio, conhecidas. Não o são, todavia, situações locais, pois que ao nível da micro-escala é inviável dispor de informação estatística suficiente devido ao número de postos de observação que seria necessário ter mantido em funcionamento. Por outro lado, a instalação de um posto meteorológico num local onde se prevê a instalação de importante complexo poluidor, raramente será, por si só, capaz de efectuar, em tempo útil, a obtenção de informação estatística efectivamente relevante pois tal exige vários anos de observação. Se a informação pretendida é apenas de nível genérico, o presente trabalho mostra que o número de anos necessário é reduzido se apenas de valores médios anuais se trata. Nesse caso, porém, bastará em muitos casos o tratamento já efectuado no âmbito deste trabalho.

3. AS CLASSES DE ESTABILIDADE DE PASQUILL

3.1 — A caracterização das propriedades dispersivas da atmosfera internacionalmente mais vulgarizada é feita em termos das chamadas classes de estabilidade de Pasquill (em homenagem ao seu autor, que as propos em 1961 **[1]**) as quais se tornaram conhecidas por Pasquill-Gifford após a reformulação por este apresentada **[2]**. Tal metodologia é utilizada em praticamente todos os estudos referentes à dispersão de poluentes radioactivos (de Centrais Nucleares, em funcionamento normal ou de acidente, armas nucleares, etc.), de efluentes gasosos ou partículas sólidas que fundamentam regulamentos oficiais de segurança nuclear ou de prevenção e combate à poluição atmosférica.

O método foi extensamente testado com resultados experimentais e constitui uma base de previsão com rigor aceitável no âmbito da micro-escala, embora a sua extensão à meso-escala seja frequente.

Apesar das suas intrínsecas limitações e de frequentes e abusivas extrapolações na consideração de casos individuais, a finalidade específica deste trabalho justifica a sua utilização, inclusivamente pela facilidade com que se estabelecerão pontes fáceis com legislação existente noutros países.

3.2 — A estabilidade atmosférica na tipologia de Pasquill-Gifford abrange seis classes, que vão da muito instável a muito estável. Como referido na introdução, à classe instável corresponde a maior dispersão local e à estável a menor. Em termos aproximados, há uma relação sensivelmente linear na intensidade da turbulência entre as classes extremas, a qual varia cerca de dez vezes entre os extremos.

Na tipologia de Pasquill-Gifford apenas intervêm observações meteorológicas correntes. No quadro seguinte apresenta-se tal caracterização:

Classes de estabilidade de Pasquill-Gifford

A — atmosfera muito instável
B — atmosfera moderadamente instável
C — atmosfera ligeiramente instável
D — atmosfera neutra
E — atmosfera moderadamente estável
F — atmosfera muito estável

Velocid vento à sup. (m/s)	INSOLAÇÃO DIURNA Forte	Moderada	Fraca	CONDIÇÕES NOCTURNAS Nebulosidade ≥4/8	Nebulusidade ≤3/8
<2	A	A-B	B		
2	A-B	B	C	E	F
4	B	B-C	C	D	E
6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

A vantagem da tipologia de Pasquill-Gifford é a facilidade da sua aplicação e a simplicidade dos conceitos físicos subjacentes. Tal facto, associado às correlações empíricas que foram estabelecidas tomando-a como base, estão na origem da sua rápida generalização. Todavia, a formulação de Pasquill-Gifford é essencialmente qualitativa ao considerar os factores determinantes das características dispersiva da atmosfera. Nomeadamente, a caracterização da permuta de energia entre o solo e a atmosfera é reduzida a termos subjectivos como insolação diurna ***forte, moderada, fraca*** e a trocas de energia radiante durante a noite fazendo intervir apenas nebulosidade de modo simplificado. Na caracterização dos factores de origem mecânica intervém apenas a velocidade do vento, ignorando-se o efeito de rugosidade de superfície, factores locais de relevo, etc.

Às intrínsecas limitações referidas, acresce que a subjectividade inerente aos designativos de ***forte, moderada, fraca*** não permitem uma caracterização uniforme e objectiva mesmo no âmbito da tipologia usada.

3.3 — De modo a resolver as ambiguidades na caracterização de Pasquill-Gifford, uma definição objectiva foi introduzida por Turner **[3]**, na qual a quantificação da permuta radiante de energia é significativamente melhorada tendo em conta a energia solar incidente e a altura de nuvens. Muito embora permaneçam outras limitações, inerentes à simplicidade e generalidade do método, a caracterização objectiva de Turner, além da eliminação de aspectos subjectivos, presta-se melhor ao tratamento automático de grande volume de informação necessária à obtenção de significância estatística.

Na caracterização de Turner, são introduzidas sete classes de estabilidade, numeradas de 1 a 7. Uma análise aprofundada realizada por Golder **[5]** entre as classes de estabilidade de Pasquill e as de Turner, mostrou a seguinte equivalência como sendo a mais adequada:

QUADRO I

Correspondência entre as classes de estabilidade de Pasquill-Gifford e de Turner

Classes de Estabilidade	Pasquill-Giford	Turner
Muito instável	A	1
Moderadamente instável ...	B	2
Ligeiramente instável	C	3
Neutra...	D	4
Moderadamente estável ...	E	6
Muito estável	F	7

Verifica-se assim que Turner introduz uma classe intermédia — 5 — que se situa entre a ligeiramente estável e a neutra, de Pasquill.

3.4 — Admitida a correspondência anterior entre a caracterização de Pasquill e de Turner, levanta-se obviamente a questão de saber que vantagens há em introduzir a tipificação de Turner, ou qual o interesse em reverter de uma caracterização de Turner para a de Pasquill.

A filosofia adoptada neste trabalho parte da constatação de que tanto a tipificação de Pasquill como a de Turner são insuficientes para a caracterização completa das propriedades dispersivas da atmosfera devido ao facto de nenhuma ter em conta a totalidade dos parâmetros relevantes. Deste modo, a uma mesma classe, seja qual for o tipo de caracterização adoptada, nunca corresponderão exactamente, em locais diferentes (nem sequer no mesmo local) dispersões iguais. Entre os valores previstos e observados existirão sempre desvios. Estes desvios são inerentes à simplicidade do método. Para a finalidade deste trabalho esses são, todavia, aceitáveis. Todavia, se os desvios são aceitáveis para uma definição das classes de Pasquill-Gifford efectuada por um meteorologista experiente que subjectivamente corrige a ausência de separações marcadas entre classes, já o mesmo não sucede se o volume de dados a tratar for muito elevado ou se a classificação é feita para locais muito diferentes onde não houve medidas de campo. Sendo objectiva, a classificação de Turner remove aquelas ambiguidades. Reverter da classificação de Turner à de Pasquill-Gifford através da correspondência estabelecida por Golder tem o interesse de tornar mais fácil a comparação com uma tipologia largamente utilizada. Neste trabalho, adoptou-se a caracterização objectiva de Turner. A correspondência de Golder será utilizada apenas para referência e ponte para a vasta literatura em que as correlações se exprimem em termos das classes de Pasquill-Gifford. Efectuar ou não a correspondência em casos particulares de aplicação depende da informação disponível localmente e do tipo de aplicação. Refere-se todavia que a caracterização de Turner é utilizada geralmente em estudos de poluição urbana e mais recentemente em estudos de segurança de Centrais Nucleares.

4. CARACTERÍSTICAS DA INFORMAÇÃO DE BASE E SEGURANÇA DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O TERRITÓRIO NACIONAL

4.1 — A análise efectuada, de natureza estatística, toma como base informação de superfície recolhida pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica em 160 estações meteorológicas, sendo 126 no Continente e 34 nas Ilhas Adjacentes.

A informação tratada corresponde aos anos de 1970, 1971, 1972 e 1973, por ser aquela para a qual havia já registo em suporte magnético.

A localização dos postos de observação encontra-se assinalada no Mapa I. Para efeitos de tratamento e referência posterior, cada estação é identificada pelo seu número mecanográfico. A correspondência entre o número a localidade e as suas coordenadas geográficas, constam do Anexo I. No Anexo I * apresentam-se, estação a estação, as coordenadas geográficas, o número de observações, os valores mensais, trimestrais e anuais da frequência relativa com que occorreram as várias classes de estabilidade, as quais foram agrupadas de 1 a 7 de acordo com a caracterização objectiva de Turner.

* O Anexo I não é apresentado dado o enorme volume de informação que contém.

4.2 — A informação referente a quatro anos corresponde a um volume total de aproximadamente 49 milhões de dados. Destes, apenas um subconjunto de 7,5 milhões é directamente relevante para o estabelecimento das classes de estabilidade. Todavia, antes de ser efectuado qualquer tratamento foi necessário efectuar sobre toda a informação testes prévios de consistência e validação de modo a detectar anomalias. A detecção de anomalias apoia-se em critérios indirectos, os quais se dirigem sobretudo a erros de registo.

4.3 — Ao efectuar-se um tratamento com a dimensão que facilmente se descortina, mesmo usando o cálculo automático, a questão central que naturalmente surge é a do significado final dos valores obtidos. Tal significado encontra-se estreitamente ligado à qualidade de dados, à frequência da sua recolha e ao período total a que se referem, tendo em conta o objectivo final que se pretende.

Como as anomalias detectadas em alguns casos foram corrigidas com a colaboração do I. N. M. G., quando se deviam a erros de registo e o seu número não tem, estatisticamente, significado, a qualidade dos dados não é posta em causa.

4.4 — Relativamente à frequência das observações diárias, elas variam entre 24/dia (horárias) e 2, com casos intermédios de 8 e 3. Por outro lado, sendo fixas as horas de observação, certos valores correspondem num dado mês e dia a período diurno e noutro ao período nocturno. Com os dados existentes, resulta que para muitas estações, o número de observações anuais correspondente ao perodo diurno é significativamente superior ao período nocturno. Ao estabelecer-se a ocorrência média anual das várias classes de estabilidade, é necessário ter em conta a observação anterior. O esquema de correcção adoptado é descrito no capítulo seguinte, devendo no entanto acentuar-se, desde já, que a caracterização das propriedades dispersivas das classes de estabilidade que ocorrem durante a noite é a que maior incerteza oferece devido à grande variabilidade de situações que podem ocorrer. Todavia, tal questão não pode ser razoavelmente solucionada com o simples aumento de frequência das observações desde que se mantenha a tipologia de Pasquill-Gifford. Aliás, o mesmo acontece com os períodos de amanhecer e de anoitecer, em que o esquema simples de Pasquill-Gifford é manifestamente insuficiente, apesar de extensamente utilizado internacionalmente. As limitações anteriores mostram que a mera existência de um grande número de observações, do tipo usado para a caracterização de Pasquill-Gifford, não aumenta por si só a precisão como há a tendência errónea de considerar.

Excluindo as classes nocturnas (e de um modo geral as muito estáveis), a precisão geral esperável numa tipologia do tipo adoptado é compatível com a menor frequência de observações nas estações não sinópticas. Tal deve-se a que a transição de uma classe de estabilidade a outra se processa a uma escala de tempo que as observações sinópticas permitem caracterizar. Nestas circunstâncias, ao definir por interpolação grandes zonas de classes de estabilidade, a ponderação diferente com que figuram as estações sinópticas introduz um efeito correctivo que se admite adequado para a finalidade deste trabalho. A consulta dos valores individuais para cada estação (que figuram em anexo) pode, em casos particulares, permitir o esclarecimento de dúvidas que eventualmente surjam. Assinala-se, todavia, que a caracterização pontual de condições locais apenas baseada em valores obtidos nesse ponto não aumenta necessariamente o rigor da caracterização dispersiva da «atmosfera local» e pode levar a erros grosseiros sobretudo quando por essa via se pretendem ultrapassar as limitações intrínsecas à tipologia de Pasquill-Gifford, atribuindo-lhes um rigor que de facto não possui. Nessas circunstâncias, a caracterização terá de adoptar esquema diferente.

4.5 — Para além do rigor dos dados e da frequência das observações importa estabelecer a significância estatística dos valores médios anuais, que constituem a finalidade deste trabalho.

Segundo Pasquill, o cálculo da dispersão de efluentes em condições bem definidas de estabilidade é considerado como muito bom se em médias de longa duração a diferença entre valores estimados e medidos não excede os 10 ~ 15 %. Para médias obtidas durante intervalos curtos (entre poucos minutos e a hora) tal diferença pode situar-se na relação de 1 para 2. Estes valores acentuam, naturalmente, a importância do período médio considerado e estabelecem, indirectamente, um limite para a margem de incerteza admissível quanto à probabilidade de ocorrência média anual das várias classes de estabilidade, a qual se pode considerar aceitável se os desvios calculados numa base anual se situarem numa faixa da ordem dos 5 ~ 10 %. Admitindo desvios desta ordem de grandeza, o estabelecimento do valor médio anual com base em 3 ~ 5 anos é geralmente suficiente. Um período desta ordem é também o habitualmente considerado nas situações de bem maior responsabilidade e implicações que são a instalação de Centrais Nucleares. Sem que para esta aplicação específica se considere aceitável a caracterização usualmente feita, nem a margem de incerteza admitida, tal valor dá uma indicação indirecta de um certo consenso internacional quanto à tipificação das probabilidades de ocorrência média anual. No caso vertente, foi feito o teste ano a ano e verificada a convergência para um valor médio que seria esperável se o número de anos de observação fosse superior.

Nos capítulos seguintes apresentam-se os resultados obtidos. Por eles se constata que em relação a valores médios anuais os valores esperáveis não devem afastar-se de ± 5 % em relação aos valores apresentados. Tal constitui uma validação indirecta para a significância estatística do período tratado, quando se procuram valores médios anuais.

Cumpre acentuar o carácter anual das médias referidas. Os valores trimestrais apresentam maior dispersão, a qual naturalmente iria aumentar se fosse considerado o mês, a semana, ou o dia. Insiste-se, porém, em que uma estatística com base na semana ou até no mês não teria grande significado no actual contexto, em que se

visam actividades cuja contribuição individual não é marcante e em que interessa sobretudo o efeito da sua contribuição global para uma poluição de fundo. Numa etapa seguinte, seria bem mais importante a obtenção da frequência e a caracterização de situações anómalas susceptíveis de provocar acidentes. Esta situação deve ser considerada no âmbito da elaboração de planos de emergência ou de alerta. De igual modo, a consideração de grandes contribuições individuais ou de elevada perigosidade tem de ser abordada na sua perspectiva própria, a qual não é a do presente trabalho, muito embora dele possa naturalmente decorrer.

4.6 — Esclarecidos os limites de validade e analisadas as implicações da informação base e do seu tratamento, os valores apresentados possuem o rigor necessário para a finalidade prevista na sua utilização.

5. PONDERAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS HORÁRIAS DE OBSERVAÇÃO

5.1 — Sendo a estabilidade da atmosfera fundamentalmente deteminada pelas trocas de energia entre a atmosfera e o solo, o simples movimento do Sol determina uma evolução ao longo do dia das classes de estabilidade. A este efeito local, associado à permuta de energia radiante, vem juntar-se os que resultam da evolução sinóptica global. Verificando-se que cerca de 10 % das estações meteorológicas efectua apenas duas observações diárias (às 9 e às 18 h), caracterizar a ocorrência estatística apenas com tais observações seria introduzir uma distorção que iria ponderar excessivamente as classes de estabilidade associadas a menores fluxos de radiação incidente.

Por outro lado, na ausência de método mais rigoroso, o qual seria ele próprio incompatível com a precisão inerente à tipologia utilizada, a simples consideração das escalas globais de evolução sugere que entre os períodos considerados a evolução das classes siga evolução semelhante à que se verifica noutras estações. Pode assim estabelecer-se uma regra interpolatória verificando a relação existente entre a ocorrência estatística média anual que se obteria para uma estação dada se para a mesma fossem consideradas 2, 3, 8 ou 24 observações. Tomando para ilustração o ano de 1970 e as estações que efectuam pelo menos 8 observações diárias e que são:

QUADRO II

575 — Bragança
532 — Sintra
536 — Portela
554 — Faro
568 — Penhas Douradas
549 — Coimbra
571 — Portalegre
545 — Pedras Rubras

apresentam-se no quadro seguinte e por classe de estabilidade, a percentagem de ocorrência anual que se obteria para cada uma das estações se em vez das 8 (ou 24) observações diárias fossem apenas consideradas 3 ou 2. As horas escolhidas para as 3 e as 2 observações diárias correspondem ao horário típico das estações que efectuam tal número de observações durante o

QUADRO III

Valores obtidos para as frequências anuais (1970)

Estação	C. E.	24 obs/dia	8 obs/dia	3 obs/dia	2 obs/dia
575	1		.95	.28	.42
	2		12.82	18.58	20.96
	3		13.72	16.04	14.02
	4		42.42	44.25	53.40
	5		7.30	6.98	3.26
	6		12.48	8.96	5.95
	7		10.32	4.91	1.98
545	1	.66	.77	1.29	1.94
	2	4.83	5.29	6.55	8.19
	3	10.33	10.68	14.58	11.39
	4	53.41	51.17	53.87	67.22
	5	10.64	10.96	7.66	4.17
	6	15.34	16.35	12.36	5.69
	7	4.78	4.80	3.69	1.39
568	1		.95	0.0	0.0
	2		9.43	11.89	11.89
	3		14.39	18.74	14.07
	4		53.93	54.17	63.48
	5		8.48	7.66	4.19
	6		7.81	4.46	3.35
	7		5.00	3.09	3.02
549	1		1.55	.56	.84
	2		7.53	11.42	10.74
	3		12.67	17.27	12.97
	4		48.94	47.45	64.44
	5		4.79	5.29	4.88
	6		12.42	10.40	5.02
	7		12.10	7.61	1.12
571	1		1.42	.10	.14
	2		8.96	13.81	13.57
	3		10.89	17.52	12.29
	4		48.52	43.90	61.29
	5		12.79	11.71	5.29
	6		14.57	11.62	6.57
	7		2.84	1.33	.86
532	1		4.13	4.19	6.25
	2		9.14	9.85	14.34
	3		21.40	19.50	21.32
	4		60.20	64.57	55.88
	5		.75	.42	.74
	6		3.50	1.05	1.47
	7		.88	.42	0.0
536	1	.36	.52	0.0	0.0
	2	3.94	3.78	4.91	4.46
	3	9.50	9.48	14.35	12.40
	4	59.89	58.80	66.48	73.54
	5	12.42	12.77	8.33	5.43
	6	11.75	12.15	5.46	3.48
	7	2.14	2.50	.46	.70
554	1	.44	.31	.49	.69
	2	6.99	6.46	10.35	13.03
	3	14.59	14.75	20.15	16.19
	4	40.91	39.94	40.84	56.10
	5	8.11	8.42	8.33	4.66
	6	20.63	21.14	15.66	6.88
	7	8.34	8.97	4.21	2.47

dia. Apresentam-se também, no mesmo quadro, os valores que se verificam no caso das observações serem horárias, para as estações em que tal informação existe.

5.2 — Como se pode verificar ,o aumento do número de observações tende a aumentar a percentagem de ocorrência das classes intermédias, 2, 3 e 4, que são também as mais frequentes, o que é um resultado esperável. As classes extremas apresentam uma dispersão naturalmente maior o que, associado à sua menor percentagem de ocorrência, origina erros relativos maiores. Atendendo a que as classes 6 e 7 são classes nocturnas, cujas características dispersivas originam ampla margem de incerteza como anteriormente referido, e à muito baixa percentagem de ocorrência da classe 1 (excepto no caso de Sintra, devido a características localizadas), o esquema interpolatório afigura-se como aceitável para as classes 2, 3 e 4. Como a classe 5 apenas existe na caracterização de Turner e corresponde a um caso intermédio entre as D e E de Pasquill-Gifford e portanto numa zona de transição para as classes nocturna, a sua ponderação não teria grande significado. No esquema interpolatório que finalmente se retém, para ter em conta as estações com apenas duas e três observações diárias, apenas se têm em conta as classes 2, 3 e 4. Desta interpolação resulta um residuo que se reparte naturalmente pelas restantes. A incerteza resultante, devido à baixa frequência com que ocorrem, é aceitável em termos da caracterização global que se pretende. Todavia, deve novamente sublinhar-se que no caso de poluidores de elevada perigosidade ou de grande contribuição individualizada, é imprescindível ter em conta tais situações através de estudo local, pois a baixa probabilidade de ocorrência anual não significa, em tais casos, ausência de situações graves.

6. VALORES MÉDIOS ANUAIS EM GRANDES ZONAS DO TERRITÓRIO

6.1 — No anexo I apresentam-se para 1970, 1971, 1972 e 1973 e cada estação os valores trimetrais e anuais de ocorrência das várias classes de estabilidade.

Na determinação de valores médios anuais a tomar como referência tem interesse inferir o limite estatístico que se obteria aumentando o número de anos considerado. Para tal existem vários métodos possíveis. O mais simples e intuitivo consiste em verificar as alterações que se produzem quando se toma a média de um ano: a média da média dos dois, etc. Nos quadros seguintes apresentam-se os resultados obtidos para as principais estações. Para eles se verifica que os desvios se situam nos $\pm 5\%$. Tal é esperável para as médias anuais e justifica a prática internacional corrente de, para este tipo de caracterização, se utilizarem séries de medidas com durações semelhantes.

6.2 — A impossibilidade prática de caracterização pontual de todo o território através de medidas directas confere grande interesse imediato à determinação de grandes zonas de características semelhantes quanto á probabilidade de ocorrência das várias classes de estabilidade com base na informação existente.

Com os dados existentes e sem recurso a modelos físico-matemáticos muito elaborados e onerosos, a possibilidade de estabelecer tais zonas reside na admissibilidade de usar um processo interpolatório entre estações. A viabilidade de um esquema interpolatório decorre da própria natureza do fenómeno em estudo e da localização e frequência das observações.

Tendo em conta as escalas espacio-temporais envolvidas, a natureza da caracterização pretendida, e a localização e frequência das observações directas, uma interpolação relativamente simples é adequada muito embora se lhe possam levantar objecções decorrentes sobretudo do facto de não poder ser directamente validada com a informação existente ou de não ser estabelecida com recurso a muito maior sofisticação do método. Trata-se, porém, de uma solução de compromisso, cujas vantagens ultrapassam as eventuais limitações para a finalidade prevista. Acentua-se, todavia, que a solução adoptada tem carácter provisório e deverá ser reexaminada quando for possvel efectuar estudos base mais aprofundados. Tais estudos são, aliás, imprescindíveis na consideração de actividades com elevado índice de perigosidade, seja pela natureza dos efluentes seja pelas quantidades emitidas.

6.3 — Com base nos valores médios e tendo em conta as observações anteriores, foram traçadas para cada ano e classe de estabilidade as isolinhas correspondentes a frequências iguais de ocorrência. O traçado das isolinhas utiliza um programa de cálculo automático desenvolvido no C. T. A. M. F. U. L. e considera a rede interpolatória constituda por triângulos. Tal rede, através da sua definição, permite um melhor ajustamento ao peso relativo das várias estações.

Da análise das regiões delimitadas pelas isolinhas e da sensibilidade das mesmas a modificação na triangulação base do ano e da classe de estabilidade resulta uma zonagem do território cuja significância se pode inferir.

Nas figuras seguintes apresenta-se, para cada classe, a zonagem que resulta ao serem consideradas as médias de quatro anos.

Na representação apresentada, suprimiram-se as isolinha intermédias e as várias zonas apresentam contornos propositadamente esbatidos para que do traçado se não infira um rigor superior ao fisicamente admissível. Aliás, a simples comparação, ano a ano, da zonagem correspondente, mostra (como seria de esperar) alterações sensíveis. A título ilustrativo apresentam-se os traçados para a classe neutra correspondente a cada um dos anos considerados. Estas variações, que se tornam imediatamente perceptíveis com a representação feita, visualizam simultaneamente a variabilidade esperável em relação a um ano médio e acentuam a importância dos estudos locais pormenorizados sempre que se trate de instalações muito importantes.

QUADRO IV

Frequência de ocorrência das classes de estabilidade

Estações meteorológicas sinópticas

Estação	C. E.	1970	1971	1970+1971 MÉDIA	1972	3 Anos MÉDIA	1973	4 Anos MÉDIA
575 Bragança (8 obs.)	1	.95	.89	.92	.98	.94	1.59	1.10
	2	12.82	12.75	12.78	10.80	12.12	14.14	12.62
	3	13.72	13.43	13.57	12.35	13.16	14.60	13.52
	4	42.42	43.99	43.20	46.83	44.41	32.49	41.43
	5	7.30	7.44	7.37	9.52	8.08	5.50	7.44
	6	12.48	12.32	12.40	12.73	12.51	11.53	12.26
	7	10.32	9.18	9.75	6.80	8.76	20.14	11.61
543 Viana do Castelo (4 obs.)	1	1.66	1.05	1.35	1.04	1.25	1.54	1.32
	2	9.34	8.11	8.72	6.60	8.01	9.71	8.44
	3	15.57	17.20	16.38	15.29	16.02	17.12	16.29
	4	40.35	40.84	40.59	48.09	43.09	38.09	41.84
	5	4.22	4.76	4.49	5.14	4.70	3.70	4.45
	6	12.11	11.75	11.93	11.88	11.91	8.94	11.17
	7	16.75	16.29	16.52	11.95	15.00	20.89	16.47
566 Vila Real (4 obs.)	1	8.54	5.17	6.85	6.12	6.61	7.44	6.82
	2	7.15	8.03	7.59	5.35	6.84	9.59	7.53
	3	20.56	19.90	20.23	19.18	19.88	20.01	19.91
	4	29.24	30.59	29.90	36.28	32.04	26.41	30.63
	5	3.89	3.77	3.84	3.27	3.64	1.46	3.09
	6	8.82	10.61	9.21	12.65	10.69	7.57	9.91
	7	21.81	21.93	21.87	17.16	20.30	27.52	22.11
545 Pedras Rubras (24 obs.)	1	.66	.47	.56	.17	.43	.38	.42
	2	4.83	3.55	4.19	2.83	3.74	4.92	4.03
	3	10.33	10.27	10.30	9.42	10.01	11.84	10.47
	4	53.41	55.24	54.32	61.16	56.60	51.32	55.28
	5	10.64	11.79	11.21	10.72	11.05	10.96	11.03
	6	15.34	14.13	14.78	12.02	13.83	13.89	13.85
	7	4.78	4.55	4.66	3.68	4.34	6.69	4.93
568 Penhas Douradas (8 obs.)	1	.95	1.41	1.18	.79	1.05	1.25	1.10
	2	9.43	7.21	8.32	9.33	8.66	9.40	8.80
	3	14.39	15.73	15.06	12.31	14.14	15.59	14.51
	4	53.93	57.21	55.57	55.29	55.48	44.68	52.78
	5	8.48	8.26	8.37	8.98	8.58	11.05	9.19
	6	7.81	6.41	7.11	9.18	7.80	10.25	8.41
	7	5.00	3.78	4.39	4.12	4.30	7.79	5.17
549 Coimbra (8 obs.)	1	1.55	1.09	1.32	1.19	1.28	1.82	1.41
	2	7.53	6.06	6.81	4.64	6.08	8.43	6.67
	3	12.67	12.29	12.48	9.83	11.60	12.38	11.79
	4	48.94	53.06	51.00	61.01	54.37	47.53	52.64
	5	4.79	5.95	5.37	5.73	5.49	4.41	5.22
	6	12.42	12.47	12.44	10.82	11.90	10.04	11.44
	7	12.10	9.07	10.53	6.78	5.77	15.39	8.16
540 Monte Real/B. A. (6 obs.)	1	1.06	.46	.76	.92	.81	1.71	1.04
	2	5.92	5.64	5.78	3.23	4.93	7.66	5.61
	3	13.10	13.58	13.34	12.23	12.97	15.41	13.58
	4	59.93	58.71	59.32	65.94	61.53	53.44	59.51
	5	7.22	7.53	7.37	6.51	7.09	5.68	6.74
	6	9.58	10.25	9.91	7.98	9.27	8.49	9.08
	7	3.19	3.83	3.51	3.18	3.40	7.61	4.45
530 Cabo Carvoeiro (4 obs.)	1	1.26	1.24	1.25	.53	1.01	.98	1.00
	2	3.85	4.01	3.93	2.80	3.55	4.14	3.70
	3	8.06	7.23	7.65	8.33	7.87	10.53	8.54
	4	65.94	66.93	66.44	72.12	68.33	62.90	66.97
	5	10.86	10.07	10.47	7.50	9.48	10.68	9.78
	6	9.46	9.05	9.26	7.20	8.57	8.13	8.46
	7	.56	1.46	1.01	1.52	1.18	2.63	1.54

Estação	C. E.	1970	1971	1970+1971 MÉDIA	1972	3 Anos MÉDIA	1973	4 Anos MÉDIA
571 Portalegre (8 obs.)	1	1.42	1.06	1.24	1.39	1.29	1.57	1.36
	2	8.96	6.91	7.93	7.34	7.74	12.74	8.99
	3	10.89	12.01	11.45	10.51	11.14	16.82	12.56
	4	48.52	48.62	48.56	53.28	50.14	48.94	49.84
	5	12.79	15.75	14.27	13.02	13.85	9.10	12.67
	6	14.57	13.03	13.80	12.06	13.22	6.94	11.65
	7	2.84	2.61	2.77	2.40	2.62	3.89	2.94
532 Sintra/Granja (8 obs.)	1	4.13	2.77	3.45	1.67	2.86	2.55	2.78
	2	9.14	6.80	7.97	6.59	7.51	11.73	8.57
	3	21.40	22.17	21.79	16.70	21.09	20.50	20.19
	4	60.20	66.50	63.35	62.13	62.94	48.65	59.37
	5	.75	.63	.69	4.39	1.92	4.83	2.65
	6	3.50	.76	2.13	5.80	1.35	5.38	3.86
	7	.88	.38	.63	2.72	1.33	6.35	2.58
536 Portela (24 obs.)	1	.52	.54	53.	.29	.45	.47	.46
	2	3.78	3.62	3.70	2.71	3.37	4.57	3.67
	3	9.48	10.29	9.89	9.19	9.65	11.54	10.13
	4	58.80	56.36	57.58	61.33	58.83	54.85	57.84
	5	12.77	13.19	12.98	13.84	13.27	10.74	12.64
	6	12.15	13.46	12.80	10.08	11.90	13.87	12.39
	7	2.50	2.54	2.52	2.56	2.53	3.95	2.89
534 Montijo/B. A. (5 obs.)	1	3.76	3.22	3.49	2.48	3.15	2.93	3.10
	2	7.45	8.99	8.22	5.85	7.43	9.88	8.04
	3	18.73	17.13	17.93	17.22	17.69	20.93	18.50
	4	49.89	52.12	51.01	58.89	53.63	47.98	52.22
	5	9.11	8.65	8.88	8.22	8.66	8.28	8.57
	6	6.65	6.73	6.69	5.52	6.30	6.79	6.42
	7	4.41	3.17	3.79	1.82	3.13	3.20	3.15
557 Évora (8 obs.)	1	2.68	1.05	1.87	.91	1.55	1.49	1.53
	2	5.07	6.43	5.75	5.02	5.50	6.64	5.79
	3	7.68	100.26	8.97	9.59	9.17	11.95	9.87
	4	60.99	55.74	58.36	62.42	59.71	54.24	58.35
	5	13.66	16.82	15.24	14.72	15.07	14.66	14.97
	6	8.80	8.89	8.85	6.60	8.10	8.69	8.24
	7	1.13	.82	.98	.74	.90	2.33	1.26
554 Beja (8 obs.)	1	2.55	1.38	1.97	1.31	1.75	2.18	1.86
	2	5.31	9.96	7.64	7.73	7.67	11.12	8.53
	3	11.44	14.78	13.11	13.22	13.15	14.27	13.43
	4	46.66	35.60	41.13	43.86	42.04	34.47	40.15
	5	13.92	13.00	13.46	14.63	13.83	11.78	13.33
	6	17.44	21.48	19.46	16.46	18.46	18.03	18.35
	7	2.69	3.80	3.25	2.80	3.10	8.15	4.36
554 Faro (24 obs.)	1	.44	.24	.34	.31	.33	.37	.34
	2	6.99	5.67	6.33	5.65	6.10	8.05	6.59
	3	14.59	13.51	14.05	13.56	13.89	17.12	14.70
	4	40.91	43.18	42.05	45.04	43.04	35.85	41.25
	5	8.11	9.26	8.69	10.60	9.32	8.25	9.05
	6	20.63	20.54	20.57	18.23	19.80	16.50	18.98
	7	8.34	7.59	7.96	6.61	7.51	13.87	9.10
538 Sagres (8 obs.)	1	1.42	1.44	1.43	1.62	1.49	1.60	1.52
	2	3.80	4.27	4.03	3.41	3.83	4.40	3.97
	3	11.78	10.42	11.10	9.47	10.56	9.98	10.41
	4	59.45	64.50	61.97	69.35	64.43	64.32	64.41
	5	10.26	8.63	9.44	8.16	9.02	9.94	9.25
	6	7.60	6.12	6.86	5.03	6.25	5.79	6.14
	7	5.70	4.61	5.15	2.96	4.42	3.98	4.31

QUADRO V

Frequência de ocorrência das classes de estabilidade

Estações do Continente com 2 e 3 obs./diárias

Estação	C. E.	1970	1971	1970+1971 MÉDIA	1972	3 Anos MÉDIA	1973	4 Anos MÉDIA
17 Chaves (2 obs.)	1	5.11	4.15	4.63	5.41	4.89	8.98	5.91
	2	21.56	16.62	19.09	16.22	18.13	17.07	17.87
	3	20.28	27.65	23.97	25.46	24.47	24.70	24.52
	4	35.74	32.66	34.20	35.28	34.56	31.29	33.74
	5	3.12	1.72	2.42	3.50	2.80	1.80	2.55
	6	5.82	5.73	5.78	9.10	6.88	6.29	6.74
	7	8.37	11.46	9.97	4.98	8.27	9.88	8.67
121 S. Pedro de Muel (2 obs.)	1	1.65	.41	1.03	0.0	.69	.14	.55
	2	13.19	8.10	10.65	6.88	9.39	8.12	9.07
	3	28.57	22.25	25.41	12.52	21.11	17.97	20.33
	4	41.90	56.32	49.11	71.53	56.58	61.45	57.80
	5	3.16	6.32	4.74	5.09	4.86	3.62	4.55
	6	6.18	4.67	5.43	3.30	4.72	6.96	5.28
	7	5.36	1.92	3.64	.69	2.66	1.74	2.43
98 Fundão (2 obs.)	1	0.0	.14	.70	.14	.09	.55	.21
	2	16.30	12.17	14.24	14.07	14.18	15.93	14.62
	3	15.07	15.63	15.35	9.24	13.31	14.01	13.49
	4	56.03	58.78	57.41	68.69	61.17	56.04	59.89
	5	2.88	1.94	2.39	2.48	2.42	1.92	2.30
	6	6.44	7.61	7.03	3.72	5.92	7.14	6.23
	7	3.29	3.73	3.51	1.66	2.89	4.40	3.27
170 Setúbal (2 obs.)	1	.14	.14	.14	.27	.18	.41	.24
	2	15.48	14.68	15.80	13.00	14.39	20.85	16.00
	3	20.55	18.11	19.33	20.93	19.86	21.67	20.31
	4	46.30	49.66	47.98	51.03	49.00	40.60	46.90
	5	4.66	2.06	3.36	4.51	3.74	1.78	3.25
	6	8.49	8.09	8.29	5.61	7.40	5.08	6.82
	7	4.38	7.27	5.83	4.65	5.63	9.60	6.48
247 V. do Alentejo (2 obs.)	1	.55	.41	.48	0.0	.32	1.10	.52
	2	17.28	16.71	17.00	15.71	16.57	19.56	17.32
	3	16.19	17.12	16.66	15.85	16.39	20.52	17.42
	4	50.07	48.90	49.49	55.19	51.39	42.70	49.22
	5	3.70	4.25	3.98	4.78	4.24	2.34	3.77
	6	7.68	8.36	8.02	6.69	7.58	7.02	7.43
	7	4.53	4.25	4.39	1.78	3.52	6.75	4.32
282 Tavira (2 obs.)	1	.83	.14	.49	0.0	.32	.41	.35
	2	17.17	18.92	18.05	20.96	19.02	24.14	20.30
	3	19.11	15.75	17.43	16.85	17.24	21.38	18.27
	4	45.71	47.38	46.51	44.79	45.96	36.14	43.51
	5	5.12	6.08	5.60	7.67	6.39	3.45	5.58
	6	9.83	9.39	9.61	7.26	8.83	9.52	9.00
	7	2.22	2.35	2.29	2.47	2.35	4.97	3.01
26 Pedras Salgadas (3 obs.)	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.76	.44
	2	20.83	16.38	18.61	17.78	18.33	23.45	19.61
	3	13.92	17.39	15.66	10.99	14.10	16.68	14.75
	4	39.35	40.66	40.01	48.98	43.00	32.81	40.45
	5	2.86	2.94	2.90	3.35	3.50	1.39	2.64
	6	9.77	8.74	6.17	9.12	9.21	6.95	8.65
	7	13.27	13.89	13.58	9.78	12.31	16.96	13.48
114 Barra do Mondego (3 obs.)	1	.37	0.0	.19	0.0	.12	.10	.12
	2	7.32	8.96	8.14	6.11	7.46	7.45	7.46
	3	14.27	16.09	15.40	12.14	14.31	19.29	15.56
	4	57.82	56.49	57.16	65.05	59.79	53.67	58.26
	5	7.78	7.13	7.46	8.58	7.83	5.92	7.35
	6	11.89	8.78	10.34	7.30	9.32	9.29	9.32
	7	.55	2.56	1.56	.82	1.31	4.29	2.06
279 Praia da Rocha (3 obs.)	1	1.32	1.19	1.26	1.52	1.34	1.56	1.40
	2	14.38	12.30	13.34	16.46	14.38	16.74	14.97
	3	18.42	17.72	18.07	15.70	17.28	18.48	17.58
	4	38.35	43.34	40.85	41.96	41.22	36.14	39.95
	5	3.67	5.51	4.59	4.95	4.71	5.31	4.86
	6	10.24	8.91	9.68	9.23	9.46	7.87	9.06
	7	13.63	11.02	12.33	10.18	15.72	13.91	15.27

C. T. A. M. F. U. L.

distribuição de probabilidade de ocorrência (1970-1973)

classe B

C. T. A. M. F. U. L.

distribuição de probabilidade de ocorrência (1970-1973)

classe C

C. T. A. M. F. U. L.

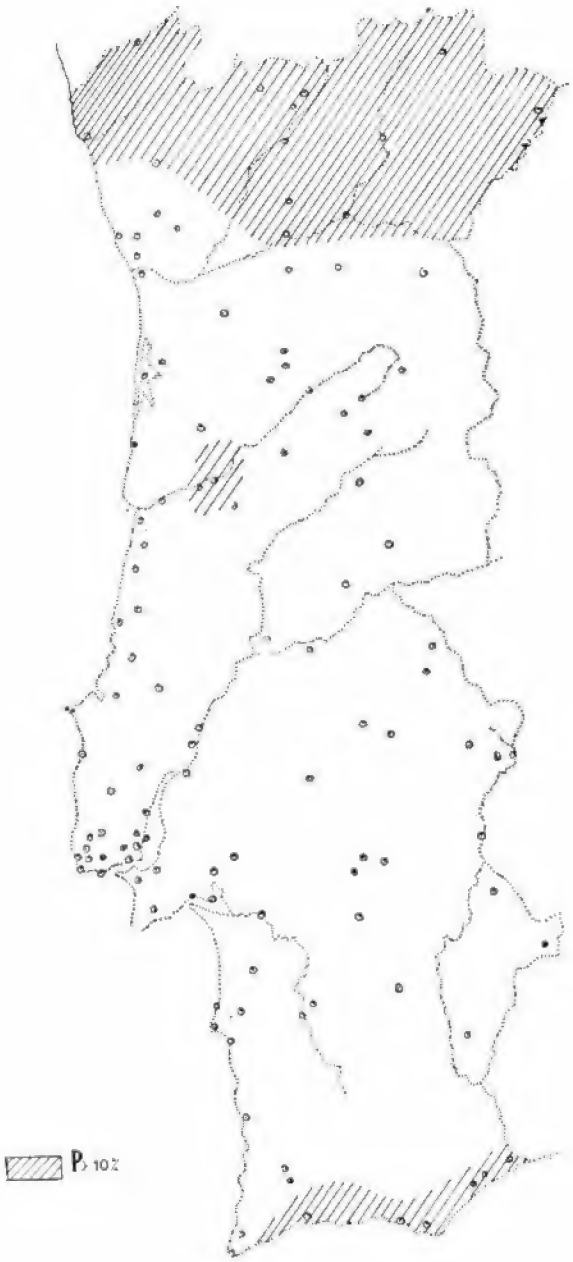
distribuição de probabilidade de ocorrência (1970-1973)

classe D

C. T. A. M. F. U. L.

distribuição de probabilidade de ocorrência (1970-1973)

classe F



C. T. A. M. F. U. L.

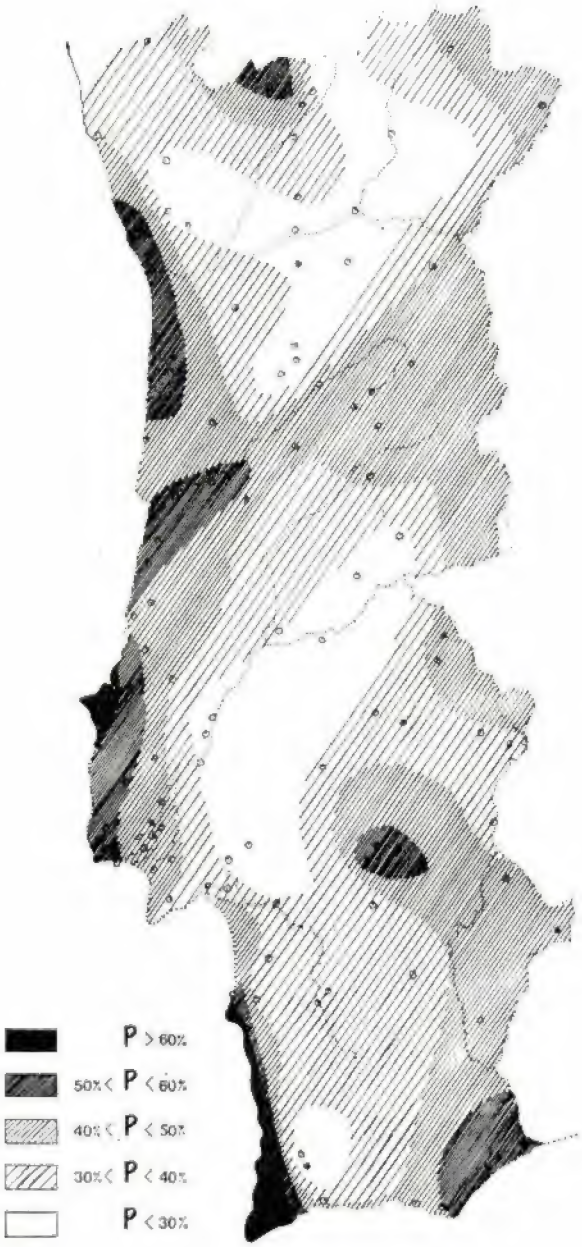
distribuição de probabilidade de ocorrência (1970)

classe D

C. T. A. M. F. U. L.

distribuição de probabilidade de ocorrência (1971)

classe D



C. T. A. M. F. U. L.

distribuição de probabilidade de ocorrência (1972)

classe D

C. T. A. M. F. U. L.

distribuição de probabilidade de ocorrência (1973)

classe D

7. CONCLUSÃO

7.1 — É habitual em estudos deste tipo omitir ou diluir limitações que em todas as conclusões existem. As entidades responsáveis fomentam usualmente tal atitude por entenderem que, face à opinião pública, o invocar dos resultados de um estudo científico ou técnico é argumento objectivo de importância decisiva. Reputa-se tal atitude como susceptível de gerar um ciclo vicioso de graves consequências no presente e sobretudo no futuro. Em Portugal, tal atitude tem sido importante fonte de inadmissível subserviência a consultores estrangeiros em inúmeros domínios. No caso vertente, o sistemático assinalar das incertezas e das limitações é não só aplicável ao estudo feito como sobretudo ao modo como internacionalmente se tem legislado no capítulo da poluição atmosférica. Efectivamente, quando se analisa o substrato científico da legislação existente nos países científica e tecnicamente evoluídos no concernente a chaminés, dispersão de poluentes, etc., a conclusão inequívoca é o da ausência de adequada fundamentação para um número importantíssimo de casos onde o mesmo se aplica. O facto de a fundamentação ser insuficiente não é motivo para que se não introduza regulamentação disciplinadora. É motivo sim para que a mesma seja continuamente melhorada e sobretudo não ignore os casos particulares que a legislação genérica é insusceptível de contemplar.

7.2 — No âmbito da dispersão de poluentes na atmosfera, houve neste trabalho a preocupação de acentuar as limitações intrínsecas da metodologia usada internacionalmente. Tais limitações são aceitáveis tratando-se de legislação genérica aplicável a unidades de pequeno porte e de baixa perigosidade. É ainda aceitável quando a incerteza relativa à quantidade de poluentes emitidos não justifica maior rigor. Neste caso, porém, não pode iludir-se a gravidade da causa com a incerteza do método. Permitir uma incerteza grande nas emissões e devido a tal incerteza usar apenas métodos grosseiros na previsão transforma-se em ciclo vicioso que por vezes se torna impossível de quebrar sem custos sociais muito elevados.

Um dos exemplos mais típicos de tal situação encontra-se na emissão de produtos radioactivos em Centrais Nucleares e na instalação de grandes complexos industriais fortemente poluidores, como pode ser entre nós o caso de Sines e é já o do Barreiro-Seixal. Chama-se veementemente a atenção para o contrasenso que será a dispendiosa extrapolação de métodos desconhecendo as suas limitações, em vez de analisadas estas se ultrapassarem as incertezas que introduzem.

7.3 — As observações anteriormente feitas, devidamente entendidas, permitirão uma fundamentação clara da legislação proposta e fixarão os limites da sua razoável aplicabilidade. O reconhecimento das incertezas e limitações deve ser entendido como estimulante para as ultrapassar, não como motivo para que indefinidamente se adie a legislação que é urgente promulgar, ou para que criticamente se copiem regulamentos estrangeiros onde as limitações aqui referidas se desconhecem ou foram escamoteadas.

Deve, finalmente, acentuar-se que para o objectivo inicialmente proposto, a metodologia adoptada é, sem dúvida, a mais adequada. Abusivo seria extrapolá-la (como é correntemente feito) a situações que a natureza do método necessariamente exclui.

7.4 — Destinando-se sobretudo a caracterização da possibilidade de ocorrência das várias classes de estabilidade atmosférica à determinação quantitativa das suas propriedades dispersas e estas por sua vez ao estabelecimento de fórmulas para o cálculo da dispersão, este trabalho é apenas um passo importante nessa direcção. Todavia, ele é em si mesmo autónomo pois outras utilizações são possíveis além das referidas. A sua aplicação ao estabelecimento de fórmulas de cálculo a utilizar em Portugal é por isso objecto de um tratamento separado.

AGRADECIMENTO

— Ao Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica que, facultando o acesso às observações de supefície de que dispunha em registo magnético e prontificando-se a esclarecer todas as dúvidas e anomalias surgidas, tornou este trabalho possível.

— Ao Centro de Cálculo das Universidades de Lisboa, cuja colaboração foi imprescindível no tratamento e reordenação da informação envolvida.

— Ao Sr. Eng.° João Brisson, do CTAMFUL, pela conversão e validação da informação tratada.

— À aluna Maria Cristina Fonseca, pela ajuda prestada no tratamento e compilação da informação.

Finalmente, ao Serviço de Estudos do Ambiente, da Secretaria de Estado do Ambiente, que, estimulando o trabalho e assumindo encargos materiais, tornou possível a sua concretização.

Como é natural, a responsabilidade do trabalho, dos seus erros e omissões cabe exclusivamente aos seus autores.

8. BIBLIOGRAFIA

[1] **F. Pasquill** — *The Estimation of Dispersion of Windborne Material.* Meteorological Mag. 90, 33-49, 1961.

[2] **F. A. Gifford** — *Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion.* Nuclear Safety 2, 47-57, 1961.

[3] **D. B. Turner** — *Relationship Between 24-Hour Mean Air Quality Measurements and Meteorological Factors in Nashville.* J. Air Poll. Control Ass. 11, 483-489, 1961.

[4] **D. B. Turner** — *A Diffusion Model for an Urban Area.* J. Appl. Meteorol. 3, 83-91, 1964.

[5] **D. Golder** — *Relations Among Stability Parameters in the Surface Layer.* Boundary-Layer Meteor. 3, 47-58, 1972.

[6] *Meteorology and Atomic Energy* — 1968 — D. H. Slade (ed.). USAEC Report TID — 24190.

[7] *Reactor Safety Study* — WASH 1400 (NUREG 75/014) — U. S. Dep. Commerce, NTIS PB-248 206, 1975.

[8] **F. Pasquill** — *Atmosferic Diffusion.* Second ed., Ellis Harwood, 1974.

SERVIÇO
METEOROLÓGICO
NACIONAL
ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS
QUE FUNCIONARAM EM 1973
VIANA DO CASTELO
Braga
Montalegre
Chaves
Chaves Aeródromo
Pedras Salgadas
BRAGANÇA
Mirandela
Miranda do Douro
VILA REAL
Régua
Pinhão
Bragança
Mirandela
Fig. Cast. Rod
Arouca/S. Freita
Serra da Muna
Viseu
Guarda
Caramulo
Anadia
Velas
P. DOURADAS
Lagoa Comprida
A. Varzeas
P. da Saúde
COIMBRA
Penacova
Pundão
Mont-o-Velho
Leiria
Crasta Alta
Monte Real
Castelo Branco
Marinha Grande
Muel
Alcobaça
Tomar
Caldas da Rainha
Rio Maior
CABO CARVOEIRO
PORTALEGRE
Marvão
Vimeiro
Santarém
Ota
Ponte Bou
Fronteira
Dois Portos
Salv. de Mugos
Mora
Vila Fernando
Monte da Comenda
Elvas
Sintra/Granja
Sintra
Sarrazola
Pena
Paço
C. Ruivo
Cabo da Roca
Monte Estoril
Lisboa
Pegões
Deiras
Albarraque
Montijo
Tapada
Lavradio
Setúbal
Águas de Moura
ÉVORA
Évora/Mitra
Évora Currais
Roncalho
Sesimbra/Marta
Sesenave
Alcácer do Sal
Aljustrel
Viana do Alentejo
Grândola
Contenda
Monte Velho
Santa da Cruz
BEJA
SINES
Cabeças
Alvalade
Mértola
V. Formoso
Zambujeira
Monchique
C. de Monchique
V. R. Sto. António
Vila do Bispo
P. da Rocha
Quarteira
Tavira
Ponta Coneição
SAGRES
FARO

Regime variável em pressão
Notícia sobre bibliografia recente

ANTÓNIO BETÂMIO DE ALMEIDA

1 — INTRODUÇÃO

Nos domínios da Hidráulica e da Mecânica dos Fluidos, o regime variável em pressão tem merecido, nos últimos anos, um renovado interesse por parte de investigadores e editores. Este interesse pode ser justificado pela ocorrência simultânea das seguintes razões: experiência já amadurecida na exploração intensa, durante os últimos vinte anos, de modelos computacionais automáticos de simulação; elevação dos níveis de segurança ou de complexidade de operação exigidos em alguns sistemas elevatórios, nomeadamente os circuitos de centrais nucleares e hidroeléctricas com bombagem; maior exigência de economia no dimensionamento de sistemas elevatórios de saneamento básico e de rega, cuja importância e número têm aumentado a nível mundial. Assim, a par de uma tendência natural e lógica no sentido da divulgação de novos métodos computacionais, o que ocorre periodicamente em todos os domínios das ciências aplicadas, verifica-se existir, na actualidade, grande procura e interesse nesta matéria por parte dos profissionais de engenharia.

É importante referir que nos últimos dez anos têm-se verificado significativos avanços na modelação matemática de regimes transitórios em escoamentos difásicos (mistura de fases gasosa e líquida) motivados pela ocorrência de pressões subatmosféricas. Nestes avanços assumiram especial importância os potentes meios de cálculo postos à disposição dos investigadores.

A vasta bibliografia sobre o regime variável em pressão (ver [1]) foi recentemente enriquecida com seis obras importantes, algumas das quais podendo vir a constituir marcos de referência tão importantes como são actualmente as obras de Allievi (1903), de Bergeron (1950), de Parmakian (1955) e de Streeter (1967). Nesta nota, apresenta-se uma breve descrição dos novos livros com o intuito de orientar os eventuais leitores interessados na escolha de um texto de consulta referente a algum dos tipos de regime variável (ver em 6 a terminologia básica).

Manuscrito recebido para publicação em 5/5/80.

2 — BIBLIOGRAFIA RECENTE

A partir da década de 60, regista-se um incremento no número de artigos publicados em revistas técnicas e de comunicações a congressos, relativos aos regimes transitórios. Reuniões especializadas sobre este domínio passaram a ser realizadas com frequência em países da Europa (incluindo Portugal [2]) e nos E. U. A. Em [1] apresenta-se uma síntese seleccionada das publicações referentes a este domínio e publicadas até 1978. Nos últimos anos da década de 70 a bibliografia do regime variável em pressão foi acrescida com seis importantes livros, em língua inglesa. Por ordem de recepção, estes livros são seguidamente indicados:

[J-1] *Fluid transients in hydro-electric engineering practice*, de **Charles Jaeger**, edição de Blackie, 1977 (413 pág.).

[F-2] *Hydraulic analysis of unsteady flow in pipe networks*, de **J. A. Fox**, edição MacMillan, 1977 (216 pág.).

[S-3] *Fluid transients*, de **E. B. Wylie** e **V. L. Streeter**, edição da Mc Graw-Hill, 1978 (384 pág.).

[C-4] *Applied hydraulic transients*, de **M. H. Chaudhry**, edição de Van Nostrand, 1979 (503 pág.).

[W-5] *Modern analysis and control of unsteady flow in pipelines*, de **G. Z. Watters**, edição Ann Arbour, 1979 (251 pág.).

[T-6] *Control and suppression of pressure surges in pipelines and tunnels*, de **A. R. D. Thorley** e **K. J. Enever**, edição da C. I. R. I. A., 1979 (112 pág.).

Seguidamente apresenta-se uma breve descrição destas obras as quais serão designadas pelo símbolo que antecede os respectivos títulos.

3 — BREVE DESCRIÇÃO DOS NOVOS LIVROS

Desde já convém distinguir o livro [J-1] dos restantes. Com efeito, este livro, constituindo uma compilação de diversas obras escritas pelo respectivo au-

tor, encerra de modo admirável o período correspondente à época anterior ao advento do cálculo automático. Ao longo de três partes fundamentais (respeitantes a oscilações em massa, golpe de ariete e a casos concretos de aplicação, respectivamente) e de 38 capítulos, o livro sintetiza as contribuições da primeira metade do século referentes ao comportamento de chaminés de equilíbrio (cálculo de oscilações e da estabilidade), ao golpe de ariete (métodos de Allievi e de Schnyder-Bergeron), à regulação de turbinas e aos fenómenos de ressonância e de rotura da veia líquida. Ensaios em protótipo e alguns acidentes são descritos com pormenor. A utilização do computador e das respectivas técnicas são apresentadas muito sumariamente em dez páginas. O conjunto de referências bibliográficas clássicas apresentado é notável, tanto pelo número como pela qualidade, realçando-se as referências correspondentes ao comportamento das chaminés de equilíbrio em aproveitamentos hidroeléctricos. Com uma apresentação luxuosa, o livro **[J-1]** será no futuro uma obra de consulta esporádica mas capaz de substituir a consulta de muitas dezenas de referências bibliográficas. Nesta nota não se farão mais referências a **[J-1]**.

Os restantes livros podem considerar-se como representativos da experiência adquirida com os métodos de cálculo actuais dando os respectivos autores grande ênfase aos modelos de cálculo automático baseados no método das características. Em **[F-2]** e **[S-3]** encontram-se ainda breves referências ao método gráfico mas em **[C-4]** e **[W-5]** toda a formulação é orientada para o uso do computador digital.

Todos estes livros apresentam as bases teóricas fundamentais do regime variável em pressão e do método das características bem como indicações sobre a modelação matemática de turbomáquinas hidráulicas e de alguns dispositivos de protecção. São também apresentadas introduções aos regimes variáveis em escoamentos com superfície livre (**[F-2]**, **[S-3]** e **[C-4]**), em fluídos gasosos (**[F-2]** e **[S-3]**) e em outros domínios especiais (**[S-3]**). No que concerne os sistemas hidroeléctricos os livros **[S-3]** e, em especial, **[C-4]** apresentam capítulos de interesse referentes a: regulação de turbinas, ressonância (**[S-3]** e **[C-4]**) e chaminés de equilíbrio (**[C-4]**). Em **[C-4]** existem capítulos especiais respeitantes a regimes transitórios em circuitos de centrais nucleares e em oleodutos.

Os livros **[F-2]**, **[W-5]** e **[T-6]** são orientados para a análise do regime variável em sistemas elevatórios equipados com turbobombas. As bombas de êmbolo e a determinação de leis de fechamento adequadas para válvulas de controlo em condutas gravíticas merecem capítulos especiais em **[S-3]**. Exceptuando o caso de **[F-2]**, todos os restantes livros apresentam programas de cálculo automático para a análise de sistemas simples.

Não obstante todos os livros apresentarem informações gerais sobre dispositivos de protecção, é em **[T-6]** que o projectista pode encontrar um conjunto de elementos úteis para o dimensionamento de alguns desses dispositivos.

No que respeita a cavitação e a rotura da veia líquida, **[F-2]**, **[S-3]** e **[C-4]** dão indicações e referências bibliográficas relativas a avanços recentes na modelação matemática de escoamentos difásicos.

4 — CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma apreciação qualitativa dos livros referidos nesta Nota terá de ter em consideração os diferentes tipos de leitores que recorrerão aos mesmos. Assim, o analista de sistemas hidráulicos em pressão já familiarizado com modelos de cálculo automático, poderá encontrar em três das seis obras (**[F-2]**, **[S-3]** e **[C-4]**) algumas sugestões e pistas novas para a resolução de casos complexos. Para quem desejar uma iniciação muito rápida na modelação de sistemas elevatórios e estiver pouco preocupado com considerações teóricas, encontrará em **[F-2]** e **[W-5]** bons elementos de referência. Finalmente, o projectista de condutas que dispense pouco tempo no aperfeiçoamento de técnicas de análise irá encontrar em **[T-6]** algumas respostas positivas. Não se quer deixar de referir que, ao contrário do que sucedeu com os métodos de cálculo anteriores, o domínio das técnicas recentes de computação não pode ser conseguido pela simples leitura de um livro. Com efeito, entre os esquemas e algoritmos de cálculo apresentados e os programas de cálculo operacionais, para simulação de casos reais, existe um grande fosso que só a experiência adquirida numa prática constante de modelação e no acompanhamento das testagens dos respectivos programas poderá vencer.

Todas as obras apresentadas têm, para os técnicos portugueses, o inconveniente de serem escritas em inglês. Anuncia-se, para breve, contudo, o aparecimento de algumas publicações em língua portuguesa sobre este domínio.

5 — REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] **Almeida, A. B.** — *O golpe de ariete em condutas elevatórias. Bibliografia e síntese dos conhecimentos.* LNEC, 1979.

[2] **Almeida, A. B.** — *O golpe de ariete em condutas.* Textos apresentados no Seminário com o mesmo título. LNEC, 1979.

6 — TERMINOLOGIA BÁSICA

O **regime variável em pressão** («unsteady pressure flow») é aquele em que a pressão e a velocidade do escoamento variam com o tempo e ao longo das condutas. Nestas variações, que apresentam características ondulatórias («pressure surges»), não são usualmente incluídas as flutuações locais motivadas pela turbulência. Designam-se por **regimes transitórios** («fluid transients») os regimes variáveis que ocorrem na transição entre dois regimes permanentes. No caso de um regime transitório mobilizar as forças elásticas do líquido e das condutas, é usual designá-lo pelos termos sugestivos de *golpe de ariete* ou *choque hidráulico (coup de bélier* ou *waterhammer).*

Notas sobre a teoria da semelhança

A. BROTAS
Instituto Superior Técnico
Universidade Técnica de Lisboa

RESUMO

Após discussão do problema da invariância das equações da Física nas mudanças de sistemas de unidades é apresentada uma definição de semelhança física.

É em seguida apresentado o problema das possibilidades de realização de sistemas físicos semelhantes.

Uma notação proposta neste texto permite a resolução quase automática dos problemas de semelhança (das relações entre as grandezas físicas de sistemas semelhantes).

Estas notas foram redigidas para serem usadas pelos alunos da cadeira de Introdução à Física dos Meios Contínuos do I. S. T. Com a sua publicação na «Técnica» pretende-se contribuir para que nas cadeiras de Física das escolas de Engenharia passe a ser dada maior atenção a este assunto e a este tipo de problemas.

ABSTRACT

After discution of the problem of the invariance of Physical equations in the changes systems of unit, a difinition of physical similarity is presented.

Then the problem of possibility of realization of similar physical systems is presented.

A notation proposed in this text gives the possibility of an almost automatic resolution of the problems of similarity (of the relations between physical variables of similar systems).

These notes were written to be used by scholars of «Introduction to the Physics of Continous Media» at the I. S. T. With the notes here presented we are trying to given a contribution so that in several engineering schools a greater attention to this subject and this kind of problems shall be given.

APRESENTAÇÃO

A diversidade dos sistemas de unidades em uso até há bem pouco tempo obrigou a que na formação dos técnicos fosse olhado com particular cuidado e atenção o problema da alteração dos valores numéricos das grandezas físicas nas mudanças de sistemas de unidades.

Gerações de estudantes de Física e de Engenharia (e desde há algumas décadas do secundário) foram assim, por via do problema da mudança dos sistemas de unidades, sensibilizados para o problema da dimensão, da homogeneidade e da invariância das fórmulas físicas.

As duas questões, porém, não se confudem. A primeira insere-se na segunda sem a esgotar.

Saber mudar de sistema de unidades é, com efeito, um mero problema técnico (quase vazio de conteúdo físico) facilmente resolvido por quem domine minimamente o problema da dimensão das grandezas físicas.

O segundo problema, o da homogeneidade e dimensão das fórmulas físicas e do significado profundo da sua invariância, é, pelo contrário, uma questão muito delicada, que se relaciona com a construção global da Física e da própria Geometria (encarada aqui como o primeiro capítulo da Física). Não se trata, de modo algum, de uma questão adicional que surge em determinada altura, mas sim de algo que está implícito nas nossas primeiras noções.

Adicionalmente trata-se de um assunto relacionado com um problema de grande importância técnica, em especial no campo da engenharia, o problema do comportamento e das possibilidades de reprodução de situações semelhantes em escalas diferentes.

Os problemas de semelhança (em que há que considerar sistemas físicos diferentes) são algo mais complexos do que os simples problemas de unidades (em que temos um só sistema físico e nos limitamos a mudar de sistema de unidades).

Infelizmente, no ensino tradicional, os segundos têm ofuscado os primeiros.

Em consequência, é corrente ver alunos que dominam bem o problema das unidades ficarem desorientados quando se lhes passa um problema do tipo:

«Uma mola vibra com uma determinada frequência f_1. Com que frequência vibra uma mola semelhante, feita com o mesmo material, e de dimensões lineares 2 vezes maiores?»

Estando a diminuir a importância prática dos problemas de mudanças de unidades por ser cada vez menor o número de sistemas de unidades em uso, parece ter chegado a hora de os substituir nos cursos de Física por problemas de semelhança. E não nos ter chegado ainda esta tendência trazida por livros estrangeiros não é razão para ficarmos à espera.

Manuscrito recebido para publicação em 20/10/80.

* * *

As notas que se seguem são uma versão corrigida de um texto em uso na cadeira de Introdução à Física dos Meios Contínuos do I. S. T., desde há dois anos.

Por Teoria da Semelhança entendem-se aqui todos os assuntos relacionados com os problemas de semelhança, o que, necessariamente, engloba as questões incluídas no atraz designado segundo problema.

A Teoria da Semelhança não é, como dissemos, um capítulo autónomo, susceptível de ser ensinado como matéria adicional em relação a capítulos anteriores de Física.

Sendo assim, a melhor maneira de levar um aluno a dominar o assunto é fazê-lo reflectir sobre o modo como aparecem os primeiros resultados e se escrevem as primeiras fórmulas da Física (e da Geometria).

Estas notas, organizadas como um encadeado de comentários, definições e problemas, destinam-se, fundamentalmente, a estimular essa reflexão.

Espera-se que os leitores estejam familiarizados com as dimensões das grandezas físicas e fórmulas de transformação dos seus valores nas mudanças de sistemas de unidades, matéria hoje, dum modo geral, assimilada no decorrer dos estudos secundários.

A esses leitores se pretende mostrar que para resolver um problema de semelhança (no âmbito de um capítulo da Física conhecido) não é precisa nenhuma matéria adicional mas somente uma reflexão sobre o que já se sabe.

O uso de uma notação adequada permite-nos apresentar um processo quase automático de resolução dos problemas. Pretende-se, naturalmente, que esse automatismo seja um automatismo compreendido.

Estas notas atingirão plenamente o seu objectivo se ajudarem os leitores a *ver*, face uma situação física, as possíveis situações físicas semelhantes.

I — COMENTÁRIOS GERAIS

1 — Invariância das fórmulas e semelhança de sistemas físicos

As leis da Física — olhadas como peças básicas da nossa compreensão do Universo — são necessariamente aplicáveis a escalas diferentes (a intervalos de variação mais ou menos largos das grandezas em jogo) sem o que seriam simples registos de resultados particulares. Por isso se exprimem por expressões matemáticas em que as grandezas físicas figuram como variáveis a que correspondem, em cada caso concreto e uma vez escolhidas as unidades, determinados valores numéricos.

A experiência revela que, pelo menos em primeira aproximação, vários resultados da Física são independentes da escala (dos valores grandes ou pequenos) das grandezas em jogo.

A atitude primeira do físico é assim a de escrever fórmulas não só aplicáveis a diferentes escalas mas que traduzam também resultados independentes das escalas.

Para satisfazer esta condição as fórmulas devem ser homogéneas.

É o que se passa com as fórmulas iniciais da Física a saber, as fórmulas da Geometria, as fórmulas de definição das grandezas cinemáticas, e a fórmula fundamental $f = m.a$.

Os sistemas de unidades que adoptamos (depois de escolher as grandezas fundamentais e de calcular as dimensões das grandezas derivadas) são construídos de modo a assegurar a condição fundamental de todas as fórmulas citadas se manterem válidas (terem a mesma expressão matemática e neste sentido serem invariantes) em todos os sistemas de unidades.

* * *

Do ponto de vista puramente numérico diferentes sistemas físicos estudados num mesmo sistema de unidades podem confundir-se (ser equivalentes dizem alguns) com um único sistema físico estudado em diferentes sistemas de unidades.

Esta *equivalência*, quando se verifica, traduz a possibilidade de reproduzir a escalas diferentes o *mesmo* sistema físico que, naturalmente, não será o mesmo mas sim diferentes sistemas que diremos semelhantes.

Podemos assim dar a seguinte definição de semelhança:

Dois sistemas físicos são semelhantes se, para as grandezas que nos interessa considerar, do ponto de vista numérico, tudo se passar entre os dois sistemas (estudados num mesmo sistema de unidades) como se se tratasse de um único sistema físico estudado em dois sistemas de unidades diferentes (ver notação adiante).

Partindo de um sistema físico (e limitado o nosso interesse a um conjunto limitado de grandezas) a toda a mudança de sistema de unidades (e podemos imaginarmos quantas quizermos) corresponde, assim, o conjunto dos valores numéricos (no sistema de unidades inicial) das grandezas de um sistema físico semelhante ao primeiro... no caso deste sistema poder existir, o que, como veremos, nem sempre se verifica.

2 — Grandezas variáveis e constantes universais

Nas fórmulas iniciais acima referidas figuram unicamente grandezas (variáveis) e números puros (constantes). No caso de estarem unicamente em jogo fórmulas deste tipo é sempre possível (teoricamente entenda-se) dado um sistema inicial, construir todos os sistemas semelhantes correspondentes a todas as (infinitas) mudanças de sistemas de unidades que queiramos imaginar.

Mas tal não é possível em situações mais complexas quando nas fórmulas figuram as chamadas constantes universais.

Vejamos num exemplo simples como aparecem estas constantes.

Admitamos que tinhamos já definido processos de medida das grandezas distância, massa e força, que tinhamos adoptado um sistema de unidades, o sistema c.g.s., por exemplo, e que começávamos por via experimental a estudar a lei da atracção gravitacional.

Ao fim de demorados estudos encontraríamos o resultado

$$f = 6{,}673 \,.\, 10^{-8} \frac{m.m'}{r^2}$$

Tinhamos encontrado uma nova lei física expressa pela expressão anterior no sistema c.g.s. Se quizéssemos passar para um outro sistema, para o sistema internacional por exemplo, o nosso problema seria um simples problema de matemática e facilmente obteríamos

$$f = 6{,}673 \,.\, 10^{-11} \frac{m.m'}{r^2}$$

Apresentadas as coisas deste modo podemos dizer que a lei da gravitação se exprime por funções diferentes das massas e das distâncias nos dois sistemas de unidades. Podemos ***unificar*** as duas expressões escrevendo

$$f = G \frac{m.m'}{r^2}$$

e dizendo que G é uma constante universal de dimensão $M^{-1}\ L^3\ T^{-2}$ que toma os valores indicados nos dois sistemas.

Em resumo temos o seguinte: trabalhando num certo sistema de unidades encontramos para a lei da gravitação uma expressão do tipo $f = f_1\,(m,m',r)$. Conhecida a função f_1 o problema da passagem para a expressão $f = f_2\,(m,m',r)$ válida num segundo sistema de unidades é um mero problema de matemática. As funções f_1 e f_2 são diferentes. O que há de ***estranho*** na lei de gravitação de Newton é o facto de podermos ***unificar*** as duas expressões por meio da introdução de uma única constante universal. De conseguirmos com uma só constante formular uma lei física invariante na mudança de sistemas de unidades.

Note-se que, no estudo de um fenómeno novo, a ***unificação*** podia exigir ***a priori*** a introdução de várias constantes universais. A ***estranha*** situação encontrada, de ser necessária uma única constante, é, porém, a regra geral em Física em todos os fenómenos fundamentais.

Limitamo-nos a registar o facto que, naturalmente, é um tema de meditação.

3 — Limitações na construção de sistemas semelhantes

Encontramos um segundo tipo de leis em cujas expressões matemáticas figuram grandezas variáveis e constantes universais (para as imaginarmos com valores diferentes temos de nos imaginar noutro Universo).

Vejamos como se põe o problema da semelhança nesta nova situação.

Suponhamos que temos um sistema físico cujo estudo envolve uma lei física onde figura uma constante universal G. Num sistema de unidades inicial as diferentes grandezas do sistema e a constante G tem determinados valores. Podemos imaginar livremente diferentes sistemas de unidades. Em geral, nesses novos sistemas a constante G tem valores diferentes. Não podemos por isso, em geral, imaginar sistemas reais semelhantes ao sistema inicial, que correspondam no sentido atrás descrito a todas as mudanças de sistemas de unidades, dado que em muitos desses sistemas a constantes G deveria ter um valor diferente do valor que tem no nosso Universo. Só são pois possíveis os sistemas semelhantes que correspondem às mudanças de sistemas de unidades em que o valor de G não se altera.

* * *

Consideremos agora um sistema físico cujo estudo exija a consideração de um certo número de leis em que figurem as constantes universais $G_1, G_2, \ldots G_k$. Em situações deste tipo poderá não ser possível construir a uma escala diferente um sistema físico semelhante ao sistema inicial, por ser impossível encontrar dois sistemas de unidades distintos em que os valores numéricos das constantes universais sejam os mesmos.

Consideremos agora a situação mais restrita de estarmos a estudar um problema particular, de mecânica dos fluidos por exemplo, e de desejarmos construir um sistema semelhante ao sistema estudado mas sem mudar de fluido. No caso da densidade do fluido ter influência no fenómeno em estudo vemos imediatamente que ρ desempenha neste problema restrito um papel idêntico ao das constantes universais nos problemas anteriores. Só nos será possível construir sistemas semelhantes que correspondam a mudanças de sistemas de unidades que não alterem o valor numérico de ρ.

Se além de ρ tiverem influência no problema em estudo toda uma série de outras grandezas características do fluido podemos (será a situação corrente) estar impedidos de construir um sistema semelhante a uma escala diferente com o mesmo fluido.

* * *

Vemos que os problemas de semelhança são mais complexos que os problemas de unidades.

Há um ponto importante a sublinhar. Sendo, em princípio, todas as situações físicas influenciadas por todas as leis da Física nunca é possível reproduzir semelhantemente, em rigor absoluto, uma situação física a uma escala diferente.

Nos problemas correntes, porém (e se não fosse assim não resolveríamos um único problema) estudamos situações em que as grandezas em jogo estão relacionadas por um número limitado de leis físicas (por serem desprezíveis todos os outros efeitos). Nestes casos é, às vezes, possível, mas nem sempre como vimos, reproduzir semelhantemente as situações (os sistemas) físicos em estudo em escalas diferentes.

Compete, naturalmente, ao físico ou engenheiro que estuda determinada situação conhecer, ou pelo menos delimitar, as grandezas e leis físicas que podem influir no seu evoluir. É a partir desses elementos que pode saber se é possível ou não reproduzir situações semelhantes.

Problemas simples são aqueles em que os fenómenos em estudo obedecem a leis rigorosas em que figuram poucas constantes, universais e características

dos materiais. São deste tipo os problemas que a seguir se encontram neste texto. A nosso ver tem o seu lugar nas cadeiras de Física.

Problemas mais complicados são aqueles em que só se consegue uma semelhança mais ou menos aproximada conforme é maior ou menor a influência das grandezas cujos efeitos somos obrigados a ignorar. São problemas deste género que se põem aos engenheiros que trabalham em modelos reduzidos.

Problemas extremamente complicados são aqueles em que, dada a natureza própria do problema, é necessário trabalhar com modelos reduzidos, mas estes modelos se afastam substancialmente das condições de semelhança por a multiplicidade dos fenómenos em jogo impedir, mesmo aproximadamente, reproduções semelhantes a escalas diferentes. É o que se passa, por exemplo, no estudo dos incêndios em modelos reduzidos.

II — EXEMPLOS E REGRAS PRÁTICAS

1 — Notações

Usaremos quase exclusivamente sistemas de unidades em que as grandezas fundamentais são o comprimento, a massa, o tempo e a intensidade da corrente eléctrica. Representaremos por L, M, T e I as dimensões destas grandezas.

Dada uma grandeza física g explicitaremos as suas dimensões com a notação tradicional:

$$[g] = M^{\alpha} L^{\beta} T^{\gamma} I^{\theta} \quad .$$

Sendo g_1 e g_2 os valores em dois sistemas de unidades SU_1 e SU_2 da grandeza g associada a um dado sistema físico temos a relação:

$$g_2 = g_1 \, M_{12}^{\alpha} \, L_{12}^{\beta} \, T_{12}^{\gamma} \, I_{12}^{\theta}$$

em que I_{12}, por exemplo, é a relação entre a unidade de intensidade do sistema 1 e a unidade de intensidade do sistema 2:

$$I_{12} = \frac{\text{unidade de intensidade de } SU_1}{\text{unidade de intensidade de } SU_2} \quad ;$$

Usamos ainda a notação $g_{12} = \dfrac{g_2}{g_1}$.

* * *

Vamos introduzir, agora, uma notação adicional adequada ao estudo dos problemas de semelhança.

Admitamos que foi possível estabelecer uma correspondência entre as grandezas de dois sistemas físicos diferentes SF_1 e SF_2 (que em particular associe a todo o ponto e a todo o instante do primeiro sistema um ponto e um instante do segundo). O símbolo $g_{(1)}$ representará o valor numérico de uma grandeza de SF_1 num dado sistema de unidade, e $g_{(2)}$ o valor numérico da grandeza correspondente de SF_2 no mesmo sistema de unidades.

Adoptamos ainda a notação $g_{(12)} = \dfrac{g_{(2)}}{g_{(1)}}$

FIG. 1

No caso de termos dois sistemas físicos e dois sistemas de unidades usamos as notações $g_{(1)1}$ e $g_{(1)2}$ para representar os valores numéricos de uma grandeza de SF_1, respectivamente nos sistemas de unidades SU_1 e SU_2, e $g_{(2)1}$ e $g_{(2)2}$ para representar os valores numéricos da grandeza correspondente de SF_2 nos dois sistemas de unidades.

Temos portanto

$$g_{(12)} = \frac{g_{(2)1}}{g_{(1)1}} \quad \text{e} \quad g_{12} = \frac{g_{(1)2}}{g_{(1)1}}$$

Em conformidade com a definição anterior de semelhança, dois sistemas físicos SF_1 e SF_2 são semelhantes, se for possível encontrar dois sistemas de unidades SU_1 e SU_2 tais que, para todas as grandezas que nos interessa considerar, se verifique $g_{(2)1} = g_{(1)2}$.

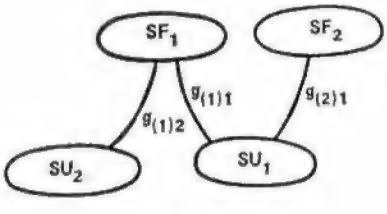


FIG. 2

Sendo SF_1 e SF_2 dois sistemas semelhantes, entre os valores de uma grandeza de dimensão (α, β, γ, θ) de SF_1 e o valor da grandeza correpondente de SF_2 verifica-se a relação

$$g_{(12)} = \frac{g_{(2)1}}{g_{(1)1}} = \frac{g_{(1)2}}{g_{(1)1}} = M_{12}^{\alpha} \, L_{12}^{\beta} \, T_{12}^{\gamma} \, I_{12}^{\theta} = g_{12}$$

No caso de g ser uma distância d usaremos a notação $g_{(12)} = d_{(2)}/d_{(1)} = L_{(12)}$. No caso de g ser uma massa, um intervalo de tempo, ou uma intensidade de corrente, usaremos para $g_{(12)}$, respectivamente, as notações $M_{(12)}$, $T_{(12)}$, $I_{(12)}$.

Escrevemos portanto

$$g_{(12)} = \frac{g_{(2)}}{g_{(1)}} = M_{(12)}^{\alpha} \, L_{(12)}^{\beta} \, T_{(12)}^{\gamma} \, I_{(12)}^{\theta}$$

fórmula fácil de fixar porque muito semelhante à anterior, mas em que já não há referência aos sistemas de unidades.

$L_{(12)}$, $M_{(12)}$, $T_{(12)}$ e $I_{(12)}$ são números que traduzem a relação de semelhança física entre os dois sistemas semelhantes SF_1 e SF_2. Assim, se o segundo tiver dimensão lineares duas vezes superiores às do primeiro temos $L_{(12)} = 2$ e se o segundo sistema for duas vezes mais rápido do que o primeiro temos $T_{(12)} = 0{,}5$.

2 — Caracteristicas dos sistemas semelhantes e sua realização prática

Na primeira parte deste texto preocupamo-nos com o problema da possibilidade de existência teórica de situações (sistemas) semelhantes.

Vamos agora debruçarmo-nos sobre o problema prático da realização efectiva de sistemas semelhantes a um dado sistema que desejamos estudar. É o problema que se põe aos engenheiros que trabalham com modelos reduzidos.

Da definição anterior decorre que dois modelos semelhantes gozam das seguintes propriedades:

1 — São geometricamente semelhantes.

2 — Para cada grandeza (considerada) há proporcionalidade entre os valores associados aos elementos correspondentes (ou pontos homólogos) de um e outro sistema.

3 — Os coeficientes de proporcionalidade $g_{i(12)}$ entre os valores num e noutro sistema de todas as grandezas consideradas verificam as relações

$$g_{i(12)} = \frac{g_{i(2)}}{g_{i(1)}} = M_{(12)}^{\alpha_i} \, L_{(12)}^{\beta_i} \, T_{(12)}^{\gamma_i} \, I_{(12)}^{\theta_i}$$

em que os expoentes α_i, β_i, γ_i e θ_i indicam as dimensões das referidas grandezas.

Como podemos assegurar que estas considerações se verificam num modelo reduzido?

Na prática o problema põe-se do seguinte modo:

Se soubermos que o evoluir do sistema em estudo depende de um certo número de leis (cujas equações podem, eventualmente, ser desconhecidas, mas cujas constantes temos de conhecer) e se à escala do modelo o evoluir do sistema depender das mesmas leis; se, adicionalmente, certos dados determinarem o evoluir do sistema em estudo e for possível reproduzir no modelo reduzido dados semelhantes respeitando as condições 3, então, todo o sistema em estudo é reproduzido semelhantemente no modelo.

As constantes (com os mesmos valores, ou com alterações fixas, na passagem do sistema para o modelo) impõem limitações na variação dos coeficientes $M_{(12)}$; $L_{(12)}$; $T_{(12)}$ e $I_{(12)}$. São estas limitações, conjuntamente com dificuldades de natureza prática, que condicionam a possibilidades de realização de modelos.

3 — Exemplos

Consideremos dois sistemas ***hidráulicos*** semelhantes.

Admitamos que o evoluir dos sistemas é influenciado pelas constantes: densidade ρ, coeficiente de viscosidade $\mu([\mu] = M\,L^{-1}\,T^{-1})$ e aceleração da gravidade g.

Se em ambos os sistemas o líquido for a água e se os dois estiverem no mesmo planeta as relações:

$$\mu_{(12)} = M_{(12)} \, L_{(12)}^{-1} \, T_{(12)}^{-1} = 1$$

$$\rho_{(12)} = M_{(12)} \, L_{(12)}^{-3} = 1$$

$$g_{(12)} = L_{(12)} \, T_{(12)}^{-2} = 1$$

implicam: $L_{(12)} = 1$; $M_{(12)} = 1$; $T_{(12)} = 1$; $v_{(12)} = 1$.

Para serem semelhantes os dois sistemas têm de ter iguais escalas de comprimentos e de velocidades o que significa serem iguais.

* * *

Admitamos que o primeiro sistema SF_1 está na Terra e que queríamos construir um sistema semelhante SF_2 com o mesmo líquido, mas num outro planeta com a aceleração da gravidade 8 vezes inferior à da Terra.

Neste caso temos:

$$g_{(12)} = L_{(12)} \, T_{(12)}^{-2} = 8^{-1}$$

$$\mu_{(12)} = M_{(12)} \, L_{(12)}^{-1} \, T_{(12)} = 1 \quad \text{e} \quad \rho_{(12)} = M_{(12)} \, L_{(12)}^{-3} = 1.$$

Estas relações dão-nos:

$$L_{(12)} = 2 \;;\quad M_{(12)} = 8 \;;\quad T_{(12)} = 4 \;;\quad v_{(12)} = 2^{-1};$$

o que significa que, no outro planeta, o segundo sistema deve ser construído numa escala duas vezes maior mas que nele as velocidades devem ser duas vezes mais pequenas.

Temos ainda neste caso:

$$f_{(12)} = M_{(12)} \, L_{(12)} \, T_{(12)}^{-2} = 1 \;;$$

o que significa que nos dois sistemas as forças (sobre elementos correspondentes) são iguais.

* * *

Admitamos que em vez de mudar de planeta mudávamos de líquido e íamos usar em SF_2 um óleo de densidade 0,8 e de viscosidade 4 vezes superior à da água.

Teriamos neste caso:

$$\mu_{(12)} = 4 \quad , \quad \rho_{(12)} = \frac{8}{10} \quad , \quad g_{(12)} = 1 \ ,$$

relações que nos permitem chegar a:

$$L_{(12)} = 5^{2/3} = 2{,}92 \quad , \quad T_{(12)} = 5^{1/3} \quad , \quad M_{(12)} = 20 \quad ,$$
$$v_{(12)} = 5^{1/3} \quad e \quad f_{(12)} = 20.$$

Neste terceiro caso as dimensões lineares, as velocidades e as forças seriam maiores no sistema 2.

4 — Semelhança de Reynolds

Vimos que um sistema cujo estudo envolva a consideração das grandezas d, ρ, μ, g não pode (no mesmo planeta e com o mesmo líquido) ter uma reprodução semelhante a uma escala diferente.

Admitamos, porém, que no problema que nos interessa estudar a influência de g é nula ou diminuta. É o que se passa, por exemplo, no estudo do deslocamento de um sólido no interior de uma grande massa líquida (ou mesmo de um gás desde que o efeito da compressibilidade seja diminuto).

Neste caso as únicas grandezas que nos interessa considerar com valores impostos são ρ e μ.

As condições:

$$\mu_{(12)} = M_{(12)} \, L^{-1}_{(12)} \, T^{-1}_{(12)} = 1 \quad e \quad \rho_{(12)} = M_{(12)} \, L^{-3}_{(12)} = 1$$

dão-nos a liberdade de adoptar, por exemplo:

$$L_{(12)} = \frac{d_{(2)}}{d_{(1)}} = 10^{-1}$$

o que nos conduz a:

$$M_{(12)} = 10^{-3} \ ; \ T_{(12)} = 10^{-2} \ ; \ v_{(12)} = 10 \ ; \ f_{(12)} = 1.$$

Vemos que para ter um sistema semelhante com uma escala 10 vezes inferior temos de ter uma velocidade 10 vezes superior, o que na prática dificulta bastante a realização de sistemas semelhantes deste tipo.

* * *

(Em sistemas geometricamente semelhantes, escolhida convenientemente uma dimensão linear e uma velocidade v, é usual definir um número sem dimensões

$$R = \frac{\rho \, v \, d}{\mu}$$

designado por número de Reynolds.

Dois sistemas *semelhantes* (no sentido da definição que atrás apresentamos) têm números de Reynolds iguais. No caso de as únicas grandezas em jogo serem ρ, v, d, μ esta igualdade é condição suficiente de semelhança.

Este tipo de semelhança (semelhança de Reynolds) é como vimos difícil de reproduzir num modelo. Por esta razão, nos estudos em modelo reduzido em hidráulica e em aerodinâmica raramente se exige (porque seria difícil) que no modelo o número de Reynalds seja igual ao do original (que haja semelhança entre um e outro sistema). Para poder utilizar os resultados obtidos no modelo, torna-se por isso necessário um conhecimento do modo de como as grandezas (as forças, por exemplo) dependem do número de Reynolds.

5 — Semelhança de Froude

Consideremos agora um problema de mecânica dos fluidos em que a influência da viscosidade seja desprezível. Admitamos que usando o mesmo líquido e sem mudar de planeta queríamos fazer uma reprodução semelhante a uma escala diferente.

Neste caso as duas únicas relações:

$$\rho_{(12)} = M_{(12)} \, L^{-3}_{(12)} = 1$$
$$g_{(12)} = L_{(12)} \, T^{-2}_{(12)} = 1$$

permitem-nos escolher, por exemplo, $L_{(12)} = 10^{-1}$ o que o que implica:

$$T_{(12)} = 10^{-1/2}, \ M_{(12)} = 10^{-3} \ . \ v_{(12)} = 10^{-1/2}, \ f_{(12)} = 10^{-3},$$
$$\rho_{(12)} = 10^{-1}.$$

Tal significa que, se no modelo as dimensões lineares forem dez vezes menores, as velocidades devem ser raiz de dez vezes menores, as forças mil vezes menores e as pressões dez vezes menores.

Nestes casos (em que a influência da viscosidade é nula ou diminuta) podemos com facilidade construir modelos semelhantes a escalas reduzidas.

É o que se fez, por exemplo, no estudo do molhe de Sines. A influência da viscosidade da água na acção do mar sobre um molhe é praticamente nula. A grandeza μ não figura, com efeito, nas equações que permitem com uma aproximação razoável estudar o problema. As grandezas que influenciam os cálculos são unicamente ρ, g, v e d.

Num modelo é possível testar a possibilidade do mar arrastar blocos sólidos. Com efeito, o equilíbrio de um bloco depende, fundamentalmente, do seu peso, que diminui com o cubo da dimensão linear, e das forças hidráulicas que como acabamos de mostrar se reduzem do mesmo modo.

Não é porém fácil testar a possibilidade do mar partir os blocos. Com efeito, no modelo reduzido as pressões (e portanto também as tensões internas) aparecem reduzidas na mesma escala das distâncias.

Em Sines o mar partiu os dolos. Para num modelo na escala de 1 para 10 fazer ensaios de ruptura dos dolos teria sido necessário construir os modelos redu-

zidos de dolos num material com a mesma densidade dos dolos reais, mas com uma carga limite de ruptura 10 vezes menor.

E não seriam ainda considerados outros efeitos como os da compressibilidade da água.

É usual nos problemas de mecânica dos fluidos definir um número sem dimensões

$$F = \frac{v}{\sqrt{g\ d}}$$

em que v e d são uma velocidade e uma distância convenientemente escolhidas (de igual modo em todos os sistemas semelhantes) designado por número de Froude.

Em dois sistemas semelhantes o número de Froude (tal como o de Reynolds) é o mesmo. A igualdade do número de Froude é, assim, uma condição necessária de semelhança. Mas esta condição é também uma condição suficiente nos problemas em que as únicas grandezas com importância significativa são, ρ, g, v e d. Quando é este o caso, e quando os números de Froude de dois sistemas são iguais, falamos em semelhança de Froude, tal como no caso anterior falávamos em semelhança de Reynolds).

6 — Escolha de tipo de semelhança

Dado um sistema físico cujo estudo envolva a consideração de um número elevado de variáveis, vemos que, em geral, só é possível construir sistemas semelhantes com iguais dimensões lineares.

A construção de modelos semelhantes com escalas diferentes só é possível quando os condicionalismos relativos às grandeza que determinam a evolução (ou o estado) de um sistema não impõem a relação $L_{(12)} = 1$.

O estudo dos problemas de semelhança começa, assim, pela selecção de quais estas grandezas. Este conhecimento não é fornecido propriamente pela Teoria de Semelhança, mas sim pelo capítulo ou capítulos da Física envolvidos no estudo do sistema em causa.

São assim, por exemplo, conhecimentos de Mecânica dos fluidos que nos permitem dizer, face a um determinado problema de movimento de fluidos, se a reprodução semelhante a escala diferente do sistema em estudo tem que ver com a semelhança de Froude, a semelhança de Reynolds, ou outros tipos de semelhança relacionados com outras grandezas determinantes na evolução do sistema. Tal, exige, nalguns casos, conhecimentos bem assimilados.

Noutros campos da Física, porém, a indicação das grandezas intervenientes nos fenómenos é elementar. Os problemas de semelhança aparecem, assim, como problemas simples, de solução quase imediata, que podem ser resolvidos com uma metodologia que quase se transforma num automatismo.

Todos os problemas da série que a seguir se apresenta são deste tipo.

7 — Problemas

P. 1 — Uma barra encastrada vibra com uma frequência de 2 vibrações por segundo. Qual deverá ser a frequência de vibração de uma barra semelhante feita com o mesmo material, igualmente encastrada, e de dimensões lineares 3 vezes maiores?

P. 2 — Imagine um sistema solar semelhante ao existente com dimensões lineares 3 vezes maiores e com as massas do Sol e dos planetas 5 vezes menores. Qual é a relação entre os períodos de translação dos planetas no sistema real e no sistema imaginado?

P. 3 — Uma ponte tem um vão de 120 m. Qual deve ser, num planeta em que a aceleração da gravidade seja 10 vezes superior à da Terra, o vão de uma ponte semelhante à anterior, feita com o mesmo material, e tal que nela seja a mesma a fadiga máxima devida ao peso próprio?

P. 4 — Considere dois sistemas de condutores no vácuo, o segundo com dimensões lineares três vezes superiores às do primeiro. Suponha que as cargas dos condutores do 2.° sistema são sete vezes menores do que as cargas dos condutores do 1.° sistema. Determine a relação entre as resultantes das forças electrostáticas que se exercem sobre os condutores do primeiro e sobre os condutores do segundo sistema. Determine, ainda, as relações entre os coeficientes de potencial e de capacidade dos condutores de um e de outro sistema.

P. 5 — Um íman exerce sobre uma peça em ferro uma força de 1 N. Suponha um outro íman e uma outra peça em ferro, de formas semelhantes, de dimensões lineares duas vezes maiores, feitos de materiais idênticos, e colocados numa posição semelhante. Que força se exerce entre eles?

Resoluções (abreviadas):

1 — Além das dimensões geométricas as grandezas que interessam à resolução do problema são a densidade ρ e o módulo de elasticidade E de dimensões $[\rho] = M\ L^{-3}$ e $[E] = M\ L^{-1}\ T^{-2}$. As condições $L_{(12)} = 3$; $M_{(12)}\ L^{-3}_{(12)} = 1$; $M_{(12)}\ L^{-1}_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = 1$ permitem-nos imediatamente obter $T_{(12)} = 3$.

Sendo a dimensão da frequência $[f] = T^{-1}$ temos $f_{(12)} = 1/3$. Com o que temos $f_{(2)} = f_{(1)} \cdot f_{(12)} = 2/3$. A frequência da vibração da 2.ª barra é $2/3\ s^{-1}$.

2 — Em astronomia os cálculos baseiam-se na equação $f = m.a$ e na lei de Newton. Além das massas e das distâncias há a considerar a constante de gravitação G de dimenões $[G] = M^{-1}\ L^3\ T^{-2}$ que como constante universal é a mesma num caso e noutro. Temos assim $G_{(12)} = 1$. As condições $L_{(12)} = 3$, $M_{(12)} = 5^{-1}$; $M^{-1}_{(12)}\ L^3_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = 1$ dão-nos quase imediatamente $T_{(12)} = (5.3^3)^{1/2}$.

3 — De: $g_{(12)} = L_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = 10$, $\rho_{(12)} = M_{(12)}\ L^{-3}_{(12)} = 1$ e $\sigma_{(12)} = M_{(12)}\ L^{-1}_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = 1$ obtemos $l_{(12)} = L_{(12)} = 10^{-1}$ donde $l_{(2)} = 12$ m.

4 — Temos de considerar a lei de Coulomb onde figura a constante universal ε_o de dimensões $[\varepsilon_o] = M^{-1}\ L^{-3}\ T^4\ I^2$. Para sistematizar os cálculos é útil organizar um quadro como o que se segue:

d	L	$L_{(12)} = 3$
q	I T	$q_{(12)} = I_{(12)}\ T_{(12)} = 7^{-1}$
ε_o	$M^{-1}\ L^{-3}\ T^4\ I^2$	$\varepsilon_{o(12)} = M^{-1}_{(12)}\ L^{-3}_{(12)}\ T^4_{(12)}\ I^2_{(12)} = 1$
f	$M\ L\ T^{-2}$	$f_{(12)} = M_{(12)}\ L_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = ?$
C_{ij}	$M^{-1}\ L^{-2}\ T^4\ I^2$	$C_{ij(12)} = \qquad = ?$
C^{ij}	$M\ L^2\ T^{-4}\ I^{-2}$	$C^{ij}_{(12)} = \qquad = ?$

As três primeiras linhas permitem-nos obter $M^{-1}_{(12)}\ T^2_{(12)} = 3^3.7^2$ valor que substituído na 4.b linha nos dá $f_{(12)} = 1/3^2.7^2$. Dum modo semelhante calcularíamos $C_{(12)} = 3$ e $C^{ij}_{(12)} = 1/3$

5 — Admitimos que a magnetização do iman é dada por $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{M}_o + \chi_m\ H$ e a da peça em ferro por uma fórmula semelhante mas sem magnetização permanente. As forças dependem da geometria do sistema e das grandezas $\boldsymbol{M}_o$, μ_o e χ_m. Para resolver o problema podemos fazer um quadro semelhante ao anterior.

d	L	$L_{(12)} = 2$
μ_o	$M\ L\ T^{-2}\ I^{-2}$	$\mu_{o(12)} = M_{(12)}\ L_{(12)}\ T^{-2}_{(12)}\ I^{-2}_{(12)} = 1$
χ_m	1	
$\boldsymbol{M}_o$	$L\ I^{-1}$	$\boldsymbol{M}_{o(12)} = L_{(12)}\ I^{-1}_{(12)} = 1$
f	$M\ L\ T^{-2}$	$f_{(12)} = M_{(12)}\ L_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = 2^2$

As três primeiras linhas permitem-nos obter $M_{(12)}\ L_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = 2^2$. As forças quadruplicam quando as dimensões lineares duplicam.

* * *

Detectadas as grandezas que interessam à resolução do problema, obtemos o resultado quase automaticamente. Notemos que encontramos neste problema $H_{(12)} = 1$. No caso da magnetização ser devida também a correntes e dos materiais obedecerem a leis $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{M}$ (H) não lineares já nada poderíamos fazer. Deixava de haver semelhança entre os dois sistemas, embora feitos de peças geometricamente semelhantes e dos mesmos materiais.

8 — Um problema particular

O problema que a seguir apresentamos leva-nos a considerar uma noção de semelhança, ligeiramente modificada, utilizável nalguns casos especiais.

— *Um ponto de uma estrutura desloca-se de 7 mm quando ela é carregada com determinado conjunto de cargas.*

Imagine uma estrutura semelhante à anterior, feita com os mesmos materiais, e de dimensões lineares duas vezes maiores.

Quanto se desloca o ponto da segunda estrutura, homólogo do ponto da primeira, quando ela é carregada com um conjunto de cargas, semelhantes às da primeira estrutura, mas de intensidades três vezes maiores?

Resolução:

Representando por d as dimensões lineares das estruturas e por δ os deslocamentos dos seus pontos devidos às cargas, temos, num quadro semelhante aos dos problemas anteriores:

d	L	$d_{(12)} = L_{(12)} = 2$
δ	L	$\delta_{(12)} = L_{(12)} = ?$
ε	1	
σ	$M\ L^{-1}\ T^{-2}$	$\sigma_{(12)} = M_{(12)}\ L^{-1}_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = ?$
E	$M\ L^{-1}\ T^{-2}$	$E_{(12)} = M_{(12)}\ L^{-1}_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = 1$
f	$M\ L\ T^{-2}$	$f_{(12)} = M_{(12)}\ L_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = 3$

Para haver semelhança (no sentido da definição atrás adoptada) teríamos de ter na segunda linha:

$$\delta_{(12)} = L_{(12)} = 2$$

o que implicaria na última linha:

$$f_{(12)} = M_{(12)}\ L_{(12)}\ T^{-2}_{(12)} = 4$$

o que não é concordante com um dos dados do problema.

Os dois sistemas físicos considerados (as duas estruturas com as respectivas cargas) não são pois sistemas semelhantes.

Mas o problema não deixa de ser resolúvel.

Sabemos que numa estrutura (na hipótese linear) os deslocamentos são proporcionais às cargas. Os sistemas físicos SF_i formados por uma dada estrutura com diferentes hipóteses i de carga semelhantes entre si, são sistemas físicos **não semelhantes** dado que por um lado temos sempre $d_{(1i)} = L_{(1i)} = 1$ e por outro $\delta_{(1i)} = L_{(1i)} = f^{1/2}_{(1i)} \neq 1$. Não deixa, no entanto, de haver semelhança entre os deslocamentos dos diferentes sistemas e entre as forças dos diferentes sistemas.

A condição quebrada é a da igualdade entre os coeficientes de proporcionalidade (na passagem de um sistema para o outro) correspondentes às distâncias globais e aos deslocamentos, grandezas com a mesma dimensão física.

Tudo se passa como se houvesse semelhança, mas estas duas grandezas tivessem dimensões diferentes.

Escrevendo $[d] = L$ e $[\delta] = L^*$, as fórmulas da Mecânica e da Elasticidade permitem-nos escrever as dimensões das diferentes grandezas que nos interessam num sistema de grandezas fundamentais M, L, T e L^*.

Usando estas fórmulas, e seguindo a técnica dos problemas anteriores escrevemos:

d	L	$d_{(12)} = L_{(12)} = 2$
δ	L^*	$\delta_{(12)} = L^*_{(12)} = ?$
ε	$L^* L^{-1}$	$\varepsilon_{(12)} = L^*_{(12)} L^{-1}_{(12)} = ?$
σ	$M L^{-1} T^{-2}$	$\sigma_{(12)} = M_{(12)} L^{-1}_{(12)} T^{-2}_{(12)} = ?$
E	$M L^{*-1} T^{-2}$	$E_{(12)} = M_{(12)} L^{*-1}_{(12)} T^{-2}_{(12)} = 1$
f	$M L T^{-2}$	$f_{(12)} = M_{(12)} L_{(12)} T^{-2}_{(12)} = 3$

Os dados da 1.ª, 5.ª 6.ª linhas permitem-nos obter $L^*_{(12)} L_{(12)} = 3$, $\delta_{(12)} = L^* = 3/2$, $\sigma_{(12)} = 3/4$. Temos, finalmente $\delta_{(12)} = 10{,}5$ mm.

* * *

Na resolução deste problema fizemos uso de uma noção de ***semelhança parcial***. Entre dois sistemas há semelhança parcial quando (satisfeitas todas as outras condições de semelhança) duas grandezas de igual dimensão não satisfazem à condição 3 da secção 2, por terem coficientes de proporcionalidade diferentes na passagem de um sistema para outro, sendo, no entanto satisfeitas as condições 3 quando as duas grandezas são consideradas de dimensões independentes.

III — O TEOREMA «PI» OU DE BUCKINGHAM

1 — Comentário prévio

Consideremos a seguinte afirmação que designaremos por afirmação A:

«As equações da Física são invariantes numa mudança de sistema de unidades.»

Que significa esta afirmação?

Conhecidas as fórmulas de transformação dos valores numéricos dum conjunto de grandezas $g^1, \ldots, g^k$ numa mudança de sistema de unidades, a passagem de uma relação do tipo

$$f_1(g_1^1, \ldots g_1^k) = 0$$

entre os valores numéricos das grandezas num sistema de unidades 1 para a relação correspondente

$$f_2(g_2^1, \ldots, g_2^k) = 0$$

entre os valores numéricos das grandezas num sistema de unidades 2 é um elementar problema de matemática.

A afirmação A diz pura e simplesmente que exprimindo-se uma lei da Física por equações como as acima indicadas, as funções f_1 e f_2 são iguais.

Vimos que os sistemas de unidades eram exactamente escolhidos de modo a que tal fosse verdade no caso das leis que designamos por leis iniciais da Física.

No caso da gravitação vimos que a expressão da força em função das massas e das distâncias não era invariante mas que a invariância era obtida por meio da introdução de uma constante universal.

Em geral, uma lei não invariante que num dado sistema de unidades se exprime por uma equação do tipo

$$f_1(g_1^1, \ldots, g_1^k) = 0$$

pode ser sempre transformada numa lei invariante por meio da introdução de constantes c^i que não necessitam de ser em número superior a k porque sendo c^i de dimensão igual à grandeza g^i e de valor $c_1^i = 1$ no sistema adoptado.

$$f(c_1^1, \ \ , c_1^k \ ; \ g_1^1 ; \ \ , g_1^k) = f_1\left(\frac{g_1^1}{c_1^1}, \ldots, \frac{g_1^k}{c_1^k}\right) = 0$$

já é uma lei invariante. (No caso de algumas grandezas g^i terem a mesma dimensão as respectivas constantes c^i podem identificar-se).

Apresentadas assim as coisas a afirmação A aparece-nos como inteiramente vazia de conteúdo físico.

Na realidade, no estudo dos fenómenos fundamentais o número de constantes c^i necessárias para obter a invariância das leis é sempre inferior aos das grandezas de dimensão diferente em jogo. A invariância obtém-se pois sem necessidade de fazer uso do número máximo de constantes em princípio eventualmente necessárias.

É este facto subjacente que confere um conteúdo físico (importantíssimo) à afirmação A.

É fácil ver, tendo em conta o que atrás dissemos sobre semelhança, que no caso extremo de ser necessário introduzir o número máximo de constante c^k para obter a invariância de uma lei, não é possível, no domínio de aplicação dessa lei, reproduzir situações semelhantes a escalas diferentes.

É o que se passa com frequência no estudo de alguns fenómenos particulares, caso em que os c^k não são constantes universais, mas sim constantes características dos materiais. Basta, por exemplo, no estudo de um fenómeno magnético ter um material em que a relação $B = f(H)$ é não linear, para não ser possível reproduzir campos magnéticos semelhantes mas diferentes ($H_{(12)} \neq 1$).

E, no próprio caso dos fenómenos fundamentais, podemos suspeitar que a semelhança só se verifica nos limites de uma escala muito larga no interior da qual o efeito de parte das constantes c^k não se faz sentir. Nunca haveria assim, em rigor absoluto, situações semelhantes a escalas diferentes.

2 — Demonstração

Partamos agora da afirmação A cujo significado foi esclarecido.

Admitamos que sabemos que numa certa situação física o valor de uma grandeza g^1 é determinado pelos valores de n-1 grandezas $g^2, \ldots, g^n$. Representemos por

G_1^i os valores destas grandezas num dado sistema de unidades. O nosso objectivo é conhecer a relação

$$G_1^1 = h\ (G_1^2, \ldots, G_1^n)$$

a que podemos dar a forma:

$$f(G_1^1, \ldots, G_1^n) = 0.$$

Sendo as leis da Física invariantes (o que significa que nelas incluimos todas as constantes necessárias para assegurar essa invariância) entre os valores G_2^i das grandezas g^i num segundo sistema de unidades deve verificar-se a mesma relação

$$f(G_2^1, \ldots, G_2) = 0$$

Entre as n grandezas g^n podemos sempre escolher um conjunto de grandezas que podem ser tomadas como grandezas fundamentais, e em relação às quais as restantes se podem exprimir dimensionalmente. Admitamos que essas grandezas são, por exemplo, as três primeiras. Representemos por A, B e C as suas dimensões. Podemos escrever para todas as outras grandezas as equações dimensionais

$$[g^k] = A^{\alpha k}\ B^{\beta k}\ C^{\gamma k}$$

em que os expoentes são fáceis de calcular. Consideremos os números

$$\Pi^k = \frac{G_1^k}{(G_1^1)^{\alpha k}\ (G_1^2)^{\beta k}\ (G_1^3)^{\gamma k}}$$

(os três primeiros manifestamente iguais à unidade) independentes do sistema de unidades inicialmente escolhido.

É fácil ver que, num sistema de unidades em que os valores correspondentes às três primeiras grandezas do sistema em estudo sejam a unidade as restantes grandezas tomam os valores Π^k. Como a invariância se verifica ainda, necessariamente, para este novo sistema é válida a relação

$$f(1,\ 1,\ 1,\ \Pi^4, \ldots, \Pi^n) = F(\Pi^4, \ldots, \Pi^n) = 0.$$

Vemos que o problema da procura de uma relação funcional entre n variáveis se reduz ao problema da procura de uma relação entre n-s variáveis (s — número de grandezas que podem ser tomadas como fundamentais entre as grandezas em jogo). Este resultado é o chamado teorema «Pi» ou teorema de Buckingham.

Nas exposições correntes, este teorema é demonstrado a partir da afirmação A, em geral aceite à partida sem qualquer discussão prévia. Na falta desta discussão o teorema aparece como um mero resultado de matemática cujo significado físico nos escapa.

Em particular é de sublinhar que os números Π^k correspondentes a situações semelhantes (quando estas existem) são iguais. Mas este é, de certo modo, um resultado final e restrito, e não nos parece que a técnica dos números «Pi» seja a técnica mais conveniente para abordar em toda a sua globalidade o problema da semelhança.

(Continuação da pág. 26)

Feiras, Conferências Exposições e Congressos

OBJECTIVOS E PROGRAMA	LOCAL, DATA, ORGANIZAÇÕES E INFORMAÇÕES
INTERCHIMIE 80 — Exposition internationale des procédés et matérieles de génie chimique.	Parc des expositions — Porte de Versailles — PARIS — FRANÇA. 8 a 13 de Dezembro de 1980.
VAT 81 — Des produits, éléments de construction et prestations de service (effectués suivant plan et/ou commande) destinés à la métallurgie, l' industrie électronique et l' industrie transformatrice de bois et de plastique.	DÜSSELDORF — R. F. A. 23 a 26 de Fevereiro de 1981.
MELECON' 81 — Mediterranean Electrotechnical Conference.	TEL-AVIV — ISRAEL. 24 a 28 de Maio de 1981.
BERGBAU 81 — Exploração Mineira, construção de túneis e exploração oceânica em Düsseldorf.	DÜSSELDORF — R. F. A. 11 a 17 de Junho de 1981.

Resumo dos Artigos publicados na «Técnica» n.º 460

Ano LV — Outubro 1980

LUÍS VALADARES TAVARES — *Uma perspectiva sobre os problemas pedagógicos no IST*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 5-8.

JOSÉ CARLOS DE O. S. HORTA — *As crostas calcárias e a construção de pavimentos de estradas na África do Norte (primeira parte)*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 9-22.

Em clima mediterrânico sub-húmido a semi-árido a calcite é dissolvida nos maciços montanhosos pelas precipitações da estação fria e deposita-se, no verão, nos solos das planícies, cujos perfis se diferenciam à medida que se vão enriquecendo em calcário. A. RUELLAN deu, em 1970, uma descrição genética e uma classificação muito completas dos diferentes estados de acumulação de calcário nos solos. As crostas calcárias folheadas, podendo compreender uma lage petrificada na parte superior, correspondem ao que se tem chamado tradicionalmente *tufo* na África do Norte. Esta designação incorrecta foi, aqui, consagrada pelo uso em técnica de estradas. Trata-se, com efeito, dum excelente material de pavimentação quando utilizado dentro das condições climáticas que correspondem ao encrostamento dos perfis pedológicos.

FERNANDO ALBERTO GONÇALVES — *Sobre a representação analítica de resultados experimentais*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 23-26.

A linearização de relações funcionais permite a fácil representação analítica de resultados experimentais mediante o cálculo de apenas dois parâmetros.

Quando a relação funcional não é linearizável, por exemplo, por se desconhecer a sua forma, e os resultados experimentais em coordenadas rectangulares sugerem uma ligeira curvatura, a técnica de abaixamento de grau permite dar forma linear a uma relação quadrática, o que simplifica grandemente os cálculos dos coeficientes da equação procurada.

J. J. DELGADO DOMINGOS, M. FÁTIMA PINTO e M. TERESA PONTES — *Ocorrência média anual no território português das classes de estabilidade atmosférica Pasquill-Gifford*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 27-42.

Com o objectivo de fundamentar a regulamentação aplicável às actividades que contribuem para a poluição atmosférica no Território Nacional, efectuou-se a caracterização da ocorrência média anual das classes de estabilidade atmosférica Pasquill-Gifford no Território Continental.

Esta caracterização permitirá estabelecer as expressões mais adequadas para o cálculo da dispersão de efluentes atmosféricos no País.

A. BETÂMIO DE ALMEIDA — *Regime variável em pressão: Notícia sobre bibliografia recente*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 43-44.

ANTÓNIO BROTAS — *Notas sobre a teoria da semelhança*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 45.

Após discussão do problema da invariância das equações da Física nas mudanças de sistemas de unidades é apresentada uma definição de semelhança física.

É em seguida apresentado o problema das possibilidades de realização de sistemas físicos semelhantes.

Uma notação proposta neste texto permite a resolução quase automática dos problemas de semelhança (das relações entre as grandezas físicas de sistemas semelhantes).

Estas notas foram redigidas para serem usadas pelos alunos da cadeira de Introdução à Física dos Meios Contínuos do I. S. T. Com a sua publicação na «Técnica» pretende-se contribuir para que nas cadeiras de Física das escolas de Engenharia passe a ser dada maior atenção a este assunto e a este tipo de problemas.

Synopsis of articles published in «Técnica» n.º 460

LV — October 1980

J. J. DELGADO DOMINGOS, M. FÁTIMA PINTO e M. TERESA PONTES — *Annual mean occurence of Pasquill-Gifford atmospheric stability classes in Portugal*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 27-42.

Annual mean occurence of Pasquill-Gifford stability classes in Portugal was made in order to fundament the policy to rule atmospheric pollutant activities.

Based on this caracterization more correct expressions to calculate the dispersion of atmospheric pullutants in Portugal can be set.

A. BETÂMIO DE ALMEIDA — *Unsteady pressure flow: Recent books review*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 43-44.

ANTÓNIO BROTAS — *Notes on similitude theory*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 45.

After discution of the problem of the invariance of Physical equations in the changes systems of unit, a difinition of physical similarity is presented.

Then the problem of possibility of realization of similar physical systems is presented.

A notation proposed in this text gives the possibility of an almost automatic resolution of the problems of similarity (of the relations between physical variables of similar systems).

These notes were written to be used by scholars of «Introduction to the Physics of Continous Media» at the I. S. T. With the notes here presented we are trying to given a contribution so that in several engineering schools a greater attention to this subject and this kind of problems shall be given.

LUIS VALADARES TAVARES — *A discussion on pedagogic issues for I.S.T.*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 5-8.

JOSÉ CARLOS DE O. S. HORTA — *Calcareous crusts (caliches or calcretes) and road pavement construction in North Africa (part one)*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 9-22.

Under the subhumid and semi-arid mediterranean climates calcite is solubilized on the mountainous massifs by the cold season precipitations to be deposited in summer in the soils of the plains, which profiles differentiate as their enrichment in limestone proceeds. A. RUELLAN has given in 1970 a complete genetic description and classification of the different levels of this accumulation of limestone in the soils. Foliated calcretes with eventually a petrefied hardpan at their upper part correspond to the materials which have been traditionnally designated by *tufa* in North Africa. This designation is not correct but has been imposed by routine in road technology. It is, indeed, an excellent pavement material whether used within the climate conditions corresponding to the encrusting of the pedological profiles.

FERNANDO ALBERTO GONÇALVES — *On the analytical description of experimental results*, «Técnica», Lisboa, LV (460), Outubro 1980, p. 23-26.

The linearization of functional relations allow an easy representation of experimental results through the calculation of only two parameters.

When the functional relation is not linearizable, for example if we do not know its form, and the results in rectangular coordinats suggest a slight curvature, a lowering of degree permit to linearize a quadratic relation, which simplifies greatly the calculation of the parameters of the searched equation.

técnica

REVISTA DE ENGENHARIA DA ASSOCIAÇÃO DOS ESTUDANTES DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

ÍNDICE DOS ARTIGOS PUBLICADOS

NÚMERO 453 A 459 VOLUME XLI OUTUBRO DE 1979 A JUNHO DE 1980

Artigo	N.º	Data	Pág.
Normas de segurança para laboratórios de química — FERNANDO ALBERTO GONÇALVES	453	10/979	1
Portugal 77 — Economia da Revolução — FERNANDO ABECASSIS ...	»	»	13
Thermodynamics of Moving Systems — T. M. KARADE e S. M. BORIKAR	»	»	25
No centenário da publicação da fórmula de Michaud — A. BETÂMIO DE ALMEIDA	»	»	29
Concepção e projecto de sistemas de telecomunicações no País — MANUEL JOSÉ ABREU FARO e PEDRO LUÍS BORGES TEIXEIRA.	»	»	33
Betão normal reforçado com armadura metálica — J. M. MADEIRA COSTA	»	»	43
A virtude está nos extremos? — L. VALADARES TAVARES	»	»	51
Sobre a determinação de raios de capilares de vidro — FERNANDO ALBERTO GONÇALVES	»	»	55
Quelques remarques sur l'électromécanique quasi-stationnaire des milieux continus — M. S. GARRIDO.	454	11/979	59
Étude de la commutation dans une génératrice polyphasée à redresseurs. Première partie — Analyse de la génératrice à couplages sinusoidaux — F. LABRIQUE	»	»	71
Étude de la commutation dans une génératrice polyphasée à redresseurs. Deuxième partie — Étude de la génératrice à couplages triangulaires — F. LABRIQUE...	»	»	83
Projecto apoiado em computador de sistemas de controlo — ISABEL LOURTIE, FRANCISCO CARVALHAL e PEDRO LOURTIE	»	»	97
Modelisation et stabilité de l'association onduleur de courant-machine asynchrone — J. SANTANA	»	»	111
Étude analytique et application des équations variationnelles de la génératrice à redresseur — M. S. GARRIDO	»	»	119
The concept of electric displacement in Maxwell's electromagnetic field theory — J. F. BORGES DA SILVA	455	12/979	133
A obra científica de Albert Einstein — JOÃO DE ANDRADE E SILVA.	»	»	141
Relato sucinto do II Congresso Internacional para o ensino da engenharia (Darmstadt, Outubro de 1978) — JOÃO FIGANIER...	»	»	145
Efeito de diversos parâmetros nas propriedades medidas em ensaios de tracção — M. AMARAL FORTES.	»	»	151
Propriedades de transporte de gases diluidos — A. F. SILVA JOÃO, A. M. MELO ARRUDA e C. A. NIETO DE CASTRO	»	»	159
A teoria dos sistemas no contexto do controlo e da comunicação — JOSÉ MANUEL FONSECA DE MOURA	»	»	169
Mine planning in a phosphate deposit — L. CORTEZ, F. MUGE e H. PEREIRA	»	»	183

Artigo	N.º	Data	Pág.
Aplicação de diversos métodos de cálculo ao estudo de uma lage contínua de dois tramos — ANTÓNIO O. CALDINHAS, FERNANDO A. B. BRANCO e JOÃO JOSÉ R. T. AZEVEDO	456	1/980	189
Evolutas das cónicas. Estudo das suas principais características — F. PERES RODRIGUES...	»	»	201
Algumas ocorrências scheelíticas em rochas calco-silicatadas do norte de Portugal — A. F. FERREIRA PINTO e A. F. BARROS...	»	»	213
Measurement of particle and gas velocities in a DC arc heater using laser doppler anemometry — D. F. G. DURÃO, A. MELLING, R. K. BAYLISS e I. G. SAYCE	»	»	227
Notas sobre o comportamento térmico da tensão de Early e do ganho de corrente dum transistor de junção bipolar — P. L. BORGES TEIXEIRA	»	»	233
Propagation characteristics on a continuously slotted coaxial cable — A. S. CARVALHO FERNANDES.	»	»	239
Análise linear elástica pelo método dos elementos finitos do provete DCB usado em mecânica da fractura — P. M. S. TAVARES DE CASTRO, J. C. RADON e L. E. CULVER.	457	2/980	245
Notas sobre o traçado do diagrama psicrométrico do ar — J. M. BRISSON LOPES...	»	»	251
Estudo retrospectivo de cimento Portland de alta resistência inicial com teores de magnésia reputados anormais — M. A. TEIXEIRA DE CASTRO	»	»	263
Alguns aspectos da energia nuclear de Röntgen ao PWR — RODRIGO DE ABREU	»	»	275
The teaching of mathematics and physics to engineers and scientists — the presente U. K. position — R. T. SEVERN	»	»	285
Energy and economics — J. J. DELGADO DOMINGOS	458	3/980	301
Planeamento de actividades — Um modelo de programação binária — RUI M. CARVALHO OLIVEIRA ...	»	»	305
Ensaios de fluência de um aço com 2,5 % Cr-1 % Mo (Molas cónicas helicoidais) — H. CARVALHINHOS.	»	»	311
A incidência da física no aproveitamento da energia solar — MARIA AMÉLIA CUTILEIRO ÍNDIAS	»	»	317
Espectrómetro de massa tipo quadrupolo com feixe molecular modulado — N. M. O. SOARES FRANCO e A. M. C. MOUTINHO	»	»	321
Propagation and radiation characteristics of a loose braid coaxial cable over a perfectly coductive ground plane — A. S. CARVALHO FERNANDES	»	»	329
A utilização da energia das ondas marítimas — ANTÓNIO F. DE FALCÃO	»	»	337
Projecto apoiado em computador de sistemas de controlo — FRANCISCO CARVALHAL, ISABEL LOURTIE e PEDRO LOURTIE...	459	6/980	355
Tecnologia da metanogénese (revisão descritiva) — MARIA CELESTE ANTUNES e SILVESTRE DIAS ANTUNES	»	»	369
Anaerobic digestion control using the phase-plane analysis (with application to methanogenesis) — SILVESTRE DIAS ANTUNES e MICHEL J. INSTALLE	»	»	383
Corporation financing under falling share prices — F. CALDEIRA SARAIVA	»	»	393
Simulador industrial de controlo de nível — J. R. CALDAS PINTO	»	»	403
Media where the coincidence of the directions of phase and group velocity remain under a Lorentz Transformation — M. ABREU FARO e MARIA JOÃO MARQUES MARTINS	»	»	409
Determination rapide du courant absorbé par un moteur asynchrone alimenté par onduleur de tension — F. LABRIQUE e J. M. THIRY ...	»	»	411

Edições da Técnica

TABELA DE PREÇOS

TABELAS PARA O CÁLCULO DO BETÃO ARMADO

Brazão Farinha, 6.ª edição — 1970 . . . . 650$00

TOPOGRAFIA GERAL

C. Xerez — 1.º vol. 3.ª edição — 1978 . . 485$00
C. Xerez — 2.º vol. 2.ª edição — 1966 . . (*)

TABELAS TÉCNICAS

Vicente Ferreira e Brazão Farinha, 8.ª edição 1977 750$00

MANUAL DE HIDRÁULICA GERAL

A. Lencastre, 2.ª edição — 1969 . . . . 650$00

NÚMEROS E VARIÁVEIS COMPLEXAS

A. H. Simões de Abreu, 1.ª edição — 1977 . 420$00

GUIA DE ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS

A. Herculano de Carvalho, 1.ª edição — 1961 220$00

CÁLCULO DE PÓRTICOS

G. Kani — Trad. da 7.ª edição alemã — 1962 200$00

MANUAL DE ESTRUTURAS

Brazão Farinha — 1.º vol. 1.ª edição — 1976 780$00

2.º e 3.º Volumes . . . . . (*)

BETÃO PREESFORÇADO

(A cargo dos participantes na Semana de Betão Preesforçado — I. S. T. — 1975) . . 580$00

HIDRÁULICA GERAL

1 — Fundamentos teóricos, 1.ª ed. — 1979 675$00

2 — Escoamentos Líquidos . . . . . 675$00

A. Manzanares

PROPAGAÇÃO E RADIAÇÃO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

1 — Ondas e Meios Materiais, 1.ª ed. - 1979 580$00

2 — Radiação 1.ª ed. - 1980 . . . . . 580$00

3 — Propagação Guiada, 1.ª ed. — 1981 . (*)

M. de Abreu Faro

Monografia n.º 1

CAUDAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS E AMORTECIMENTO DE CHEIAS EM ALBUFEIRAS

António Carvalho Quintela e António Betâmio de Almeida, 1.ª edição — 1975 . . . 10$00

Monografia n.º 2

ESCOAMENTO COM SUPERFÍCIE LIVRE EM CANAIS DE SECÇÃO CIRCULAR

António Betâmio de Almeida, 1.ª ed. — 1978 30$00

(*) LIVROS A PUBLICAR BREVEMENTE

Desconto de 10% aos assinantes

PEDIDOS À **técnica**

sorubal and the Apple.

If you could talk to Orville Wright, he'd tell you the problems he faced as a turn-of-the-century engineer. You could tell him all about the technological solutions available to today's engineer and scientist... particularly a 20th century phenomenon that tests assumptions and defines models before a project gets off the ground. The Apple personal computer.

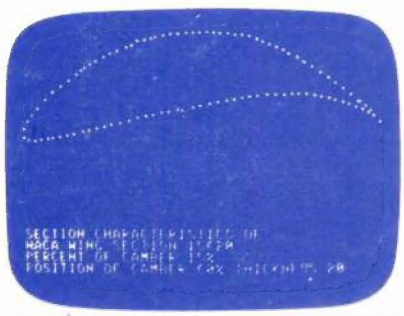
Computation, calculation, analysis...the power to pilot your projects.

With a highly-integrated system from the extensive Apple personal computer family, Orville and brother Wilbur would have increased their productivity. Perhaps even launched the Kitty Hawk Flyer well before 1903.

An Apple in their hangar would have freed them from the time and tedium of crunching numbers by hand.

An Apple in your lab or office will give you the problem-solving capabilities you demand from a big computer...without the time-consuming problems typical of remote processing.

But the Apple system solution doesn't stop there. It keeps on soaring with proven performance, power and expandability

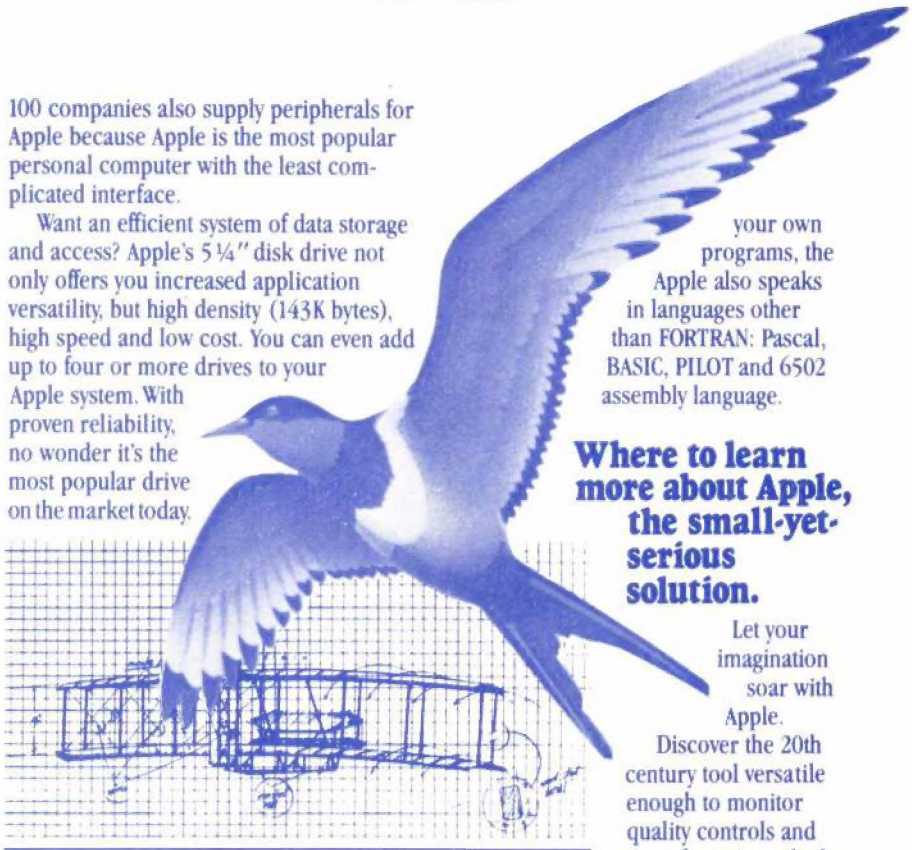


Apple's existing software library includes a program that plots the shape of an airfoil, given its parameters.

that's unparalleled for analyzing alternative paths of design and modeling a wide variety of physical processes.

Want more memory? Depending on your choice of system, Apple has memory expandable to 64K bytes or 128K bytes. Prefer wide displays? Choose 40 or 80 characters. Need to control instruments in the lab? Get on the IEEE 488 bus. Over 100 companies also supply peripherals for Apple because Apple is the most popular personal computer with the least complicated interface.

Want an efficient system of data storage and access? Apple's 5¼" disk drive not only offers you increased application versatility, but high density (143K bytes), high speed and low cost. You can even add up to four or more drives to your Apple system. With proven reliability, no wonder it's the most popular drive on the market today.



Wilbur determined that birds didn't have to constantly flap their wings to fly. With an Apple, he could've determined the fixed-wing design of the Kitty Hawk Flyer much faster.

FORTRAN that helped to design a 20th century flying machine.

Fluent in the same language that helped to design the 747, Apple FORTRAN lets you tackle differential equations at the touch of a key. And since more the 170 companies also offer software for the Apple family, you can have one of the most impressive program libraries ever...including vast subroutine libraries for math, science, engineering and statistics. When you write your own programs, the Apple also speaks in languages other than FORTRAN: Pascal, BASIC, PILOT and 6502 assembly language.

Where to learn more about Apple, the small-yet-serious solution.

Let your imagination soar with Apple.

Discover the 20th century tool versatile enough to monitor quality controls and manufacturing schedules, orchestrate tolerance tests and determine alternative parts selection. Learn why Apple emerges as the technological leader of reliable personal computer products that increase your productivity.

Visit our sole distributor in Portugal, Sorubal S.A.R.L., Rua Gen. Pimenta de Castro 15 8.º, 1700 Lisboa, or call 89 65 55 (Lisbon) telex 12775 SORBAL P.

apple computer